

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-506909

(43) 公表日 平成8年(1996)7月23日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 3 H 1/04

1/10

識別記号

庁内整理番号

F I

9314-2H

9314-2H

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 88 頁)

(21) 出願番号 特願平6-512532  
(86) (22) 出願日 平成5年(1993)11月26日  
(85) 翻訳文提出日 平成7年(1995)5月29日  
(86) 国際出願番号 PCT/US93/11501  
(87) 国際公開番号 WO94/12913  
(87) 国際公開日 平成6年(1994)6月9日  
(31) 優先権主張番号 07/982, 316  
(32) 優先日 1992年11月27日  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 ボクセル  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92653  
—7017, ラグナ ヒルズ, ナンバー117,  
メリット サークル 26081  
(72) 発明者 ハート, スチーブン ジェイ.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92672  
—6068, サン クレメント, ナンバー708,  
カール デル セッロ 1052  
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホログラムを形成する方法および装置

(57) 【要約】

ホログラムを形成する方法および装置 (300) は、フィルム基板 (319) または他の感光性媒体を、共に3次元システムを示す連続した2次元画像に露光し、物理システムの3次元ホログラムを生成する技術を含む。多数 (20~300) の画像を基板 (319) 上に重畳するのに、低ビーム比が用いられる。各画像は、比較的弱い、弱い画像のシリーズの組み合わせは、最終的には、単一で輪郭のはっきりしたホログラムとして現れる。

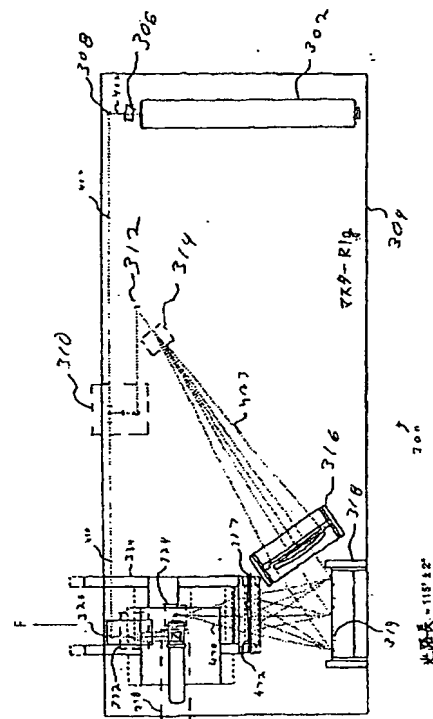


FIG 3

**【特許請求の範囲】**

1. 物理システムのマスターホログラムを形成する方法であって、  
参照ビームを提供する工程と、  
物体ビームを提供する工程と、  
該物体ビームに対する該参照ビームのビーム比が約1となるように該ビーム比を制御する工程と、  
単一フィルム基板上のそれぞれ間隔を置いて配置される該物理システムの2次元画像に対応する複数のホログラムを重畳する工程と、  
該基板を処理して、該物理システムの3次元ホログラムを生成する工程であって、該処理された基板が該重畳されたホログラムを具現化する工程とを、  
包含する方法。
2. 前記重畳工程が、実質的に5未満の参照対物体ビーム比を提供する工程を包含する、請求項1に記載の方法。
3. 前記重畳工程が、約1のビーム比を提供する工程を包含する、請求項2に記載の方法。
4. 前記2次元画像を前処理し、所望されない部分を除去し、該画像の部分間のコントラストを制御する工程をさらに包含する、請求項1に記載の方法。
5. 前記物体ビームを提供する工程が、実質的に純粋な偏光物体ビームを提供する工程を包含する、請求項1に記載の方法。
6. 前記参照ビームを提供する工程が、実質的に純粋な偏光参照ビームを提供する工程を包含する、請求項1または5に記載の方法。
7. 前記重畳工程が、前記ホログラムを単一のポリエステルフィルム基板上に重畳する工程を包含する、請求項1に記載の方法。
8. 前記参照ビームおよび前記物体ビームが周囲の光から実質的に遮蔽されるように該参照ビームおよび該物体ビームのビーム路を囲む工程をさらに包含する、請求項6に記載の方法。
9. 前記重畳工程が、前記基板および前記画像を周囲の振動から隔離する工程を

包含する、請求項1に記載の方法。

10. 前記重畳工程が、特定の強度で特定の期間、前記基板を前記画像に露光する工程を包含し、前記方法が、該基板の露光特性に従って、該期間および該強度を特定する工程をさらに包含する、請求項1に記載の方法。

11. 前記重畳工程が、陰極線管（CRT）を用いて前記画像を投影する工程を包含する、請求項1に記載の方法。

12. 前記物体ビームの前記偏光が、少なくとも95%純粋である、請求項5に記載の方法。

13. 前記物体ビームが95%純粋なP偏光である、請求項12に記載の方法。

14. 前記物体ビームが95%純粋なS偏光である、請求項12

に記載の方法。

15. 前記参照ビームの前記偏光が、少なくとも95%純粋である、請求項6に記載の方法。

16. 前記参照ビームが95%純粋なP偏光である、請求項15に記載の方法。

17. 前記参照ビームが95%純粋なS偏光である、請求項15に記載の方法。

18. 前記ビーム比が、前記画像のそれぞれについて実質的に同一である、請求項1に記載の方法。

19. 前記重畳工程が、少なくとも20個の画像を前記基板に重畳する工程を包含する、請求項1に記載の方法。

20. 前記基板の画像容量を測定する工程と、定量化する工程とをさらに包含し、該測定工程が、

所定の露光エネルギーを該基板に与える工程と、

その後、縞パターンを公知の露光エネルギーで該基板に重畳する工程と、

該縞パターンの回折を測定する工程と、

を包含する、請求項1に記載の方法。

21. 前記エネルギーを与える工程が、特定の強度で特定の期間、該基板を曇らせる工程を包含する、請求項20に記載の方法。

22. 前記重畳工程が、前記定量化された画像容量に従って、前記複数のホログ

ラムを重畳する工程を包含する、請求項20に記載の方法。

23. ホログラムを形成する方法であって、

感光性基板表面に参照ビームおよび物体ビームを与える工程と、

該物体ビームによって複数の2次元画像を連続的に照射する工程であって、該複数の画像が少なくとも20個の画像を含む、工程と、

該感光性基板を該2次元画像および該参照ビームに連続して露光し、該2次元画像のホログラムを重畳する工程と、

単一基板上の該ホログラムを現像するために該基板を処理する工程と、

を包含する方法。

24. 前記複数の画像が100個の範囲の画像である、請求項23に記載の方法。

25. 前記参照ビームおよび前記物体ビームが単一源によって生成される、請求項23に記載の方法。

26. 前記生成工程が、実質的に5未満の参照対物体ビーム比を提供する工程を包含する、請求項25に記載の方法。

27. 前記生成工程が、約1のビーム比を提供し、前記画像の所望されない部分を除去する工程を包含する、請求項23に記載の方法。

28. 前記2次元画像を含むデータを前処理する工程をさらに包含する、請求項23に記載の方法。

29. 前記前処理工程が、前記画像を切り取る、枠づけをする、合成する、および再構成する工程の少なくとも1つを包

含する、請求項28に記載の方法。

30. 前記露光工程が、ポリエステルを含む単一基板を露光する工程を包含する、請求項23に記載の方法。

31. 前記露光工程が、前記基板、前記ビーム、および前記画像を周囲の振動から隔離する工程を包含する、請求項23に記載の方法。

32. 前記参照ビームおよび前記物体ビームが周囲の光から実質的に遮蔽される

ように該参照ビームおよび該物体ビームのビーム路を囲む工程をさらに包含する、請求項23に記載の方法。

33. 前記露光工程が、特定の強度で特定の期間、前記基板を前記画像に露光する工程を包含し、前記方法が、該基板の露光特性に従って、該期間および該強度を特定する工程をさらに包含する、請求項23に記載の方法。

34. 前記重畳工程が、陰極線管(CRT)を用いて前記画像を投影する工程を包含する、請求項23に記載の方法。

35. 前記参照ビームの前記偏光が、少なくとも95%純粋である、請求項23に記載の方法。

36. 前記参照ビームが95%純粋なP偏光である、請求項35に記載の方法。

37. 前記参照ビームが95%純粋なS偏光である、請求項36に記載の方法。

38. 前記物体ビームの前記偏光が、少なくとも95%純粋である、請求項23に記載の方法。

39. 前記物体ビームが95%純粋なP偏光である、請求項38に記載の方法。

40. 前記物体ビームが95%純粋なS偏光である、請求項38に記載の方法。

41. 前記ビーム比が、前記画像のそれぞれについて実質的に同一である、請求項23に記載の方法。

42. 前記基板の画像容量を測定し、定量化する工程をさらに包含し、該測定工程が、

所定の露光エネルギーを該基板に与える工程と、

その後、縞パターンを公知の露光エネルギーで該基板に重畳する工程と、

該縞パターンの回折を測定する工程と、

を包含する、請求項23に記載の方法。

43. 前記エネルギーを与える工程が、特定の強度で特定の期間、該基板を畳らせる工程を包含する、請求項42に記載の方法。

44. 前記重畳工程が、前記定量化された画像容量に従って、前記複数のホログラムを重畳する工程を包含する、請求項42に記載の方法。

45. 参照ビームを生成する参照ビーム源と、

物体ビームを生成する物体ビーム源と、  
該参照ビーム源および該物体ビーム源によって生成されるビームのビーム路内に配置される基板支持体と、  
多数の2次元画像を該基板支持体上に投影する物体投影装

置と、

各2次元画像対して実質的に一定の有効な露光を維持する手段と、  
該投影装置と、該基板支持体との間の距離を変化させる手段と、  
を有する、ホログラムを形成する装置。

46. 前記距離変化手段がトラックを有し、前記物体投影装置が該トラック上に搭載されている、請求項45に記載の装置。

47. 前記距離変化手段がトラックを有し、前記基板支持体が該トラック上に搭載されている、請求項45に記載の装置。

48. 前記参照ビーム源が、前記参照ビームを偏光する手段を有する、請求項45に記載の装置。

49. 前記物体ビーム源が前記物体ビームを偏光する手段を有する、請求項45に記載の装置。

50. 前記参照ビーム源が、前記参照ビーム内のノイズを減少させる手段をさらに有する、請求項45に記載の装置。

51. 前記ノイズ減少手段が、  
前記参照ビームを集光させる手段と、  
該参照ビームの前記ビーム路内の開口部と、  
を有する、請求項50に記載の装置。

52. 前記物体投影装置が、前記物体ビームの前記ビーム路内に配置された空間光変調器を有する、請求項45に記載の装置。

53. 前記物体投影装置が、画像を前記空間光変調器上に投影させる陰極線管（CRT）をさらに有する、請求項52に記載の装置。

54. 前記空間光変調器が液晶光バルブである、請求項52に記載の装置。

**【発明の詳細な説明】****ホログラムを形成する方法および装置****技術分野**

本発明は、一般に、ホログラムを形成する方法および装置に関し、特に、膜基板を3次元物理システムを表示するために複数の2次元画像で連続露光することによって、物理システムのホログラムを生成する技術に関する。

**背景技術および技術課題**

ホログラムは、再生されると、物理システムの実際の3次元画像を生成する、物理システムの3次元記録、例えば、膜記録である。ホログラフィは、次の点で、立体写真術とは異なる。ホログラフィの画像は、観察者に水平および垂直両方向のあらゆる角度からの画像および完全な遠近法の画像を全範囲の観察点から提供することによって、十分な視差を与える。すなわち、ホログラフィは、観察者に、遠近を問わずあらゆる距離から全範囲にわたる遠近画像を提供する。このように、ホログラフィの画像表示は、同じような画像の立体表示よりもはるかに有利である。このことは、特に、容量測定データの検査および理解が、適切な医学的治療に重要である、医療診断に当てはまる。

3次元空間を満たすデータの検査は、芸術、科学、および

工学のあらゆる分野で発生するが、恐らく最もなじみのある例としては、医学的撮影である。医学的撮影では、人体の一部を写した複数の断面画像を得るために、例えば、コンピュータ制御によるX線体軸断層写真（CTまたはCAT）、磁気共鳴（MR）、および他の走査物理療法が用いられる。放射線技師、内科医、および患者は、これらの2次元データ「スライス」を観察して、このデータによって示される3次元の器官および組織について、この2次元データが何を意味するかを識別する。多数の2次元データスライスを統合すると、比較的簡単な容量測定画像についても、人間の視覚システムに多大な負担をかけることになる。検査中の器官または組織がより複雑になるにつれて、意味のあるかつ理解できる3次元知的画像を生成するために、大量の2次元データを適切に統合する能力は圧倒するものとなりつつある。

他のシステムでは、距離に対する視覚に関連する「奥行き合図 (depth cues)」を操作することによって画像の3次元表示を複製する試みがなされている。人間の視覚システムに関連する奥行き合図は、生理学的現象に関連する物理的合図、または知的プロセスによって得られ、物体および物体の外観が観察点によってどのように変化するかに対する以前に経験した人の観察に基づいて予想される心理的合図に分類され得る。

人間の視覚に関与する主要な物理合図には、(1) 遠近調節 (より近くのまたはより遠くの物体に焦点を合わせるため

の、筋肉駆動による目の焦点距離の変化)、(2) 収斂 (両目が同一点に方向づけられるように、両目を内側に旋回させること)、(3) 運動性視差 (観察者の目が物体に対して移動する際、観察者により近い物体は、より遠い物体よりも、視野内でより速く移動する現象)、および(4) 立体不均衡 (両目を分離した結果、それぞれの目によって観察される物体の相対的な位置の明らかな相違) が含まれる。主要な心理的合図には、(1) 物体が観察者に対して移動するときの、物体のシェーディング (shading)、シャドウイング (shadowing)、テクスチャー (texture)、および色の変化、(2) 視界の同一線内に存在するより近い物体によって遮られた遠い物体の不明瞭化、(3) 線形遠近 (平行線が遠方に後退するにつれて、互いに近づくように見える現象)、および(4) 同一または同様の物体を以前に観察したことからの記憶または推理される知識および理解が含まれる。

種々の心理的合図は、奥行きの錯覚を効果的に形成するために、巧みに扱われる。従って、頭脳は、ごまかされて、実際に存在しない奥行きを知覚し得る。しかし、物理的奥行き合図はこのような操作はされない。物理的奥行きは、一般に、近い範囲の観察に限定され、画像に関連する情報を正確に伝達する。例えば、物理的奥行き合図は、観察者から腕の長さの距離内で物体を見るときに、奥行きを知覚するのに用いられる。しかし、心理的奥行き合図は、同一の空間の写真または絵画 (すなわち、平面描写) を観察するときに奥行き



を知覚するのに用いられなければならない。写真内の物体の相対的な位置は、心理的奥行き合図を通して明白に恐らく知覚され得るが、にもかかわらず、物理的奥行き合図は、写真または絵画が、単に3次元空間の2次元表示であることを伝え続ける。

立体システムは、わずかに異なる遠近でそれぞれが生成される画像対に依存する。画像の相違は、物体の相対的なサイズ、形状、および位置のために、(心理的合図を用いる)視覚システムによって把握され、奥行きの錯覚を生み出す。一方、ホログラムは、3次元画像の錯覚を形成するために、物理的奥行き合図を支配する心理的合図を必要としない。むしろ、ホログラムは、実際の3次元画像を生成する。

従来のホログラフィ理論および実践は、ホログラムが、干渉縞の微細パターン形態をとるコヒーレント光、すなわち互いに相関する光の2本のビームの相互作用による実際の3次元記録である。特に、参照ビーム光は、膜に対して所定の角度で、膜基板に方向づけられる。記録される物体から反射される、または記録される物体から光を放射する物体(object)ビームは、膜に対してほぼ垂直に入射する。参照ビームおよび物体ビームは、膜によって占有される空間の容量内で相互作用し、ビームのコヒーレント特性の結果、膜内に定在(静止)波を生成する。定在干渉パターンは、膜を含む写真エマルジョン内の感光性元素を選択的に露光し、干渉縞として知られる明暗が交互になったラインパターンを形成する。干渉

ビームと物体ビームとの間の干渉によって生成される定在波面の生成物である縞パターンは、定在波面の振幅および位相情報を文字通り符号化する。ホログラムが適切に再照射されると、縞パターン内で符号化された振幅および位相情報は、自由空間内で再生され、物体の実際の3次元画像を生成する。

従来のホログラフィ理論はさらに、鮮明かつ非常に輪郭のはっきりした縞パターンが、鮮明かつ明るいホログラムを生成し、非常に強すぎる物体ビームが、多数の縞パターンを形成させ(相互変調)、1次縞パターンの強度を弱める1つまたはそれ以上の2次参照ビームのように作用し得ることをさらに示唆している。

従って、ホログラファは、通常、膜表面において、物体ビームの振幅の約5～8倍の振幅を有する参照ビームを用い、干渉縞パターン内における単一の高コントラストのパターンの形成を促進し、物体に関連した輝点から生じるスプリアスノイズを低減させる。さらに、公知のホログラフィ技術は、一般に、膜基板を有するエマルジョンの単一領域内で、単一なホログラム、または2つまたは3つまでのホログラムの記録を限界としているため、本発明の目的は、可能な限り強い縞パターンを生成し、最も明るいホログラフィ表示を確実にすることである。従って、ホログラファは、通常、物体を露光した状態で、膜エマルジョン内の多数の感光性粒子を露光することを試みている。ホログラフィ膜内のすべての点は、物体上のすべての可視点に関する情報を具現化する縞パターンの一部を有するため、ホログラムの対象で

ある物体または画像の形状に関係なく、縞パターンは、エマルジョンの全容量に存在する。その結果、強く、高コントラストな縞パターンの形成により、必然的に、エマルジョン内の有限の量の感光性元素の最終量が迅速に消費され、単一な膜基板上に生成され得る高コントラストなホログラムの数を2から3に限定する。10から12個ほどの異なるホログラフィ画像が、理論的上、単一な膜基板上に記録され得ることを示唆しているホログラファもいる。しかし、これまで、限定された少数のホログラムよりも多くのホログラムを重ねることは認識されておらず、事実、従来のホログラム理論のコンテキストにおいては可能ではなかった。

単一な膜基板上の少数の重畳されたホログラフィ画像を用いる従来のホログラムにおいては、比較的低パーセントのスプリアスな露光および／または現像された感光元素（曇り）の存在は、得られるホログラムの質を目に見えるほど低下させない。対照的に、下記のように、本発明によって形成されたホログラムは、通常、単一な膜基板上に重畳された100またはそれ以上までのホログラム用いる。従って、各ホログラム上の少量の曇りの存在は、最終製品の質に深刻な累積影響を与える。

従って、多数の、例えば、数百またはそれ以上までの異なるホログラムを単一

膜基板に記録させ、人体部分および分離されたデータスライスの形態で現在観察される他の物理システムの実際の3次元ホログラフィ再生を容易にするホログラ

ムを製造する方法および装置が必要とされる。

### 発明の要旨

本発明は、先行技術の限界を克服するホログラムを形成する方法および装置を提供する。

本発明の1つの局面によると、ホログラムカメラ装置は、単一のレーザ源と、レーザビームを参照ビームと物体ビームとに分離し、両ビームを膜基板に方向づけるように構成されたビームスプリッタを有する。装置はさらに、複数の2次元画像、例えば、CTスキャンデータセットを有する複数スライスのデータを物体ビームおよび膜に順次投影するように構成された空間光変調器を有する。このように、データセットの各2次元スライスの3次元ホログラフィ記録は、膜上に生成される。

本発明の他の局面によると、百から二百以上の個々の2次元スライスからなるデータセット全体は、膜に重畳され、単一の基板（マスターホログラム）上に個々に相関する百またはそれ以上のホログラムが重畳される。少数（例えば、1から4）のホログラムが単一膜基板上に重畳される先行技術とは対照的に、本発明は、それぞれが、膜内の感光性元素をほぼ等しいが、少なくとも比例して消費する、多数の比較的弱いホログラムを記録する方法および装置に関する。

本発明のさらに他の局面によると、参照から物体へのコピー（転送）装置が設けられ、一回の露光で迅速かつ効率的に

単一ホログラムとして生成され得る。

本発明のさらに他の局面によると、約1の参照ビーム対物体ビーム比は、マスターホログラムを形成するのに用いられ、各2次元データスライスについて有用に変換される感光性元素（例えば、ハロゲン化銀結晶）の数を維持する。さらに、レーザビームのコヒーレンス、偏光、および散乱、ならびに露光時間およびデータの間接レベル値を含む種々のプロセスパラメータを注意深く制御することに

より、マスターホログラムを含む個々のホログラムが、とりわけ、データセットを含むデータスライスの数に比例して、エマルジョン内のハロゲン化銀結晶の量を消費（変換）することを可能にする。

本発明のさらに他の局面によると、ホログラム観察装置は、本発明によって生成されたホログラムを観察するために設けられる。特に、本発明による例示的な観察ボックスは、広いスペクトル光源、例えば、内部に搭載された白色光源、コリメータ（たとえば、フレンネル）レンズ、広いスペクトル光源、例えば、回折格子、およびベネチャンブラインド（ルーバ）を備えた、適切に囲まれた長方形の装置を有する。コリメータレンズは、回折格子を通して白色光の平行源を方向づけるように配置される。本発明のコンテキストでは、平行光とは、ビームが適切な伝播長にわたって実質的に一定の断面積を有するように、そのすべての方向成分が同一の伝播方向を有する光のことを指す。

回折格子は、各光成分の波長の関数である角度で光を透過

させるように構成されている。ホログラムはまた、対応する波長の関数である各角度で光を通過させる。観察前にホログラムを反転させることによって、すべての波長の光は、実質的に垂直なホログラムから出射される。

#### 図面

以下、本発明を添付の図面を参照しながら説明する。図中、同一の参照番号は、同一の構成要素を指し示す。

図1Aは、典型的なX線体軸断層写真（CT）装置を示す。

図1Bは、図1AのCT装置において通常に用いられるX線によって得られるようなデータをそれぞれが含み、協同して容量測定データセットを形成する、複数の2次元データスライスを示す。

図1Cは、ある角度に向けられたガントリを用いて得られる他の容量測定データセットを示す。

図1Dは、通常、超音波装置から得られるような、さらに他の容量測定データセットを示す。

図1Eは、ソフトウェア技術によって増加されるある角度に向けられた容量測

定データを示す。

図1 Fは、軸Aに沿って観察するように構成された例示的なデータセットを示す。

図1 Gは、図1 Fの軸Bから見た例示的なデータスライスを示す。

図2 Aは、典型的なホログラフィ膜サンプルの従来のHD

グラフを示す。

図2 Bは、本発明の1つの局面による、バイアスエネルギーの関数としての回折効率を示すグラフである。

図3は、本発明の好ましい実施態様による、カメラシステムの模式図である。

図4は、本発明の好ましい実施態様による、ビームスプリッタの模式図である。

。

図5 Aから図5 Dは、図3のカメラシステムで用いられるレーザビームをフーリエ変換する際の効果を示すグラフである。

図6は、図3のカメラシステムの一部を示す拡大模式図である。

図7は、図3のカメラシステムの他の一部を示す拡大模式図である。

図8は、図3のカメラ装置で用いられる投影装置の一部を示す拡大模式図である。

図9は、本発明による、例示的なコピー装置の模式レイアウトを示す。

図10 Aおよび図10 Bは、本発明の1つの局面に従って再生されたマスターホログラムの整像図および虚像図を示す。

図11は、ホログラム観察装置の模式図である。

図12 Aから図12 Dは、それぞれ、伝送および反射ホログラムに関連した縞パターンを模式的に示す。

#### 好ましい実施例の詳細な説明

本発明においては、3次元の物理的なシステム（例えば、人体の一部）に対応して設定された体積データが単一の記録材料、例えば写真基板に符号化され、これにより物体のマスターホログラムを生成する。マスターホログラムは、適切な

光源に向けることによって再生されると、十分な視差および十分な遠近を示す物体の3次元画像を再生成する1つ以上の複製を生成するために用いられ得る。従って、特定のデータセットに対して、本発明は、複数の個別の相関する光学システム、すなわち、マスターホログラムを生成するためのカメラシステム、マスターホログラムのコピーを生成するための複製システム、および、カメラシステムの特定の構成に応じてマスターホログラムまたはその複製のいずれかを再生するための観察システムを意図している。

#### データセット

物理的なシステムに対応する体積データを生成するための現在知られている様式としては、特に、コンピュータによるX線体軸断層撮影（CATまたはCT）スキャン、磁気共鳴スキャン（MR）、3次元超音波（US）、陽電子放射断層撮影（PET）などがある。本発明の好適な実施態様では、典型的には体内部位（例えば、脳、脊髄、および他の様々な骨および器官）を検査するために用いられる医療用撮像システムに関して述べるが、本発明は、データの3次元的分布を定義するすべての適切なデータセットに関連して用いられ得、

そのデータセットが物理的なシステム、例えば数値、図形などを表すかどうかには関係ないことは当業者には周知である。

図1A～図1Dに示すように、典型的なCT装置は、周知のように、ガントリー10とテーブル12とを備えている。テーブル12は所定の速度で軸方向に（図1の矢印Aに沿って）移動するように配置されると有利である。患者（図示せず）は、検査される体の部位が通常はガントリー10の縁より内部に位置するようにテーブル12に乗せられる。

ガントリー10は、周部に配置された複数のX線源と記録装置（共に図示せず）とを備えるのが適切である。患者がガントリー10に対して軸方向に移動するに従って、X線装置は、検査部位（図1B参照）に関して得られるデータを含む3次元空間（体積）16を構成する一連の2次元データスライス14A、14B、...、14Xを記録する。すなわち、各データスライス14は組み合わせられて、全体的に検査部位の3次元画像を構成する体積データセット16を形成する。本

明細書において、「体積」または「体積空間」という語句は、複数の2次元データスライス14を含み、各スライスはその所定の様式によって検査部位に関する特定のデータを含む体積データセット16を意味する。

典型的なデータセットは約10から70（CTシステムの場合）または約12から128（MRの場合）の2次元データスライス14を有する。データスライス14間の厚さおよび間隔は構成変更可能であり、またCT技術者によって調整

され得ることは当業者には周知である。典型的なスライス厚さは1.5から10ミリメートル、最も典型的には約5ミリメートルである。スライスの厚さは、望ましくは、連続した各データスライス間に重複が少しだけ存在するように選択される。

CTまたはMRスキャンに対応するデータセットは、典型的には、複数（例えば50～100枚）の2次元の透明画像の形態で再生され、これらは、光ボックスに取り付けられると、観察者（例えば医者）が各データスライスを観察することを可能にする。複数の連続したデータスライス14を観察することによって、観察者は体積16内に物理的なシステムの3次元の心的な画像やモデルを構築し得る。観察者の心に構築された3次元モデルの正確度は、観察者の熟練度、理解量、および経験のレベル、ならびに体積16内の体部位の複雑度および異常の程度関数である。

ある環境においては、データスライスのいくつかまたはすべてに対して、ガントリー10の平面がテーブル12の移動軸に対して所定の角度、例えば角度 $\alpha$ を形成するようにガントリー10を水平軸B回りに傾けるのが望まれる。特に図1Cに示すように、傾けたガントリーを使用することによって、複数のデータスライス18A、18B、18C、... 18Xを有する別の体積18に対応するデータセットが生成される。ここで、Xはデータスライス数に対応し、各データスライスの平面は軸Aに対して角度（ $\alpha$ ）を形成する。検査部

位が放射に感応する生理学的構造（例えば目）に隣接する場合は、傾いたガントリーを用いることにより、すぐ近くの放射感応物質を照射することなくデータを

収集するのが可能となる。

傾いたガントリーを使用することに加えて、各データスライスの平面が他のすべてのデータスライスの平面に対して必ずしも平行ではない、またはデータセットの軸に必ずしも直交しないデータセットを生成するためには、他の方法が用いられ得る。実際において、データセットの軸は必ずしも直線を有しない。例えば、コンピュータ上でデータを人工的に操作し、例えばデータをグラフィック的に回転させるということを行うことによって、データの様々な遠近および観察点を生成するというコンピュータを活用した技術が開発されている。このような状況では、本発明において設定された3次元データを複製するのは可能である。特に、物体ビームを膜に投射する角度を注意深く調整することによって、特定のデータスライスの平面が他のデータスライスの平面に対しておよびデータセットの軸に対して適切に方向付けられる。

あるいは、物体ビームと膜との間の角度を操作することに加えてまたはこれに代えて、例えば、ソフトウェア内のデータを膜に投射する前にこれを操作することによってある角度に向けるデータセットを複製し得る。図1Eを参照してさらに詳しく述べると、ある角度に向けるデータセット28は、例えば図1Cに示すデータセット18に類似した、複数のあ

る角度に向けるデータスライス30を有する。ソフトウェア内の各データスライス30を操作することによって、例えば点線の延長部32aで示すように、各データスライス30の上部分に新たな空白（例えば黒の）空間を追加し得る。さらに、例えば点線32bで示すように、ソフトウェア内の各スライスに新たな黒の空間を追加し得る。このようにして、各データスライス30は上下領域で適切な量だけ効果的に延ばされ、角度を持ったデータセット28をもっと一般的なデータセット、例えば、各点線延長部32aおよび32bによって増大した図1Eに示す方形のデータセットに効果的に変換する。このような増大したデータセットは次に、本発明の方法に従って複合ホログラムへと変換され得、この結果、この複合ホログラムは観察者にはスペース内である角度をもって傾いているように見える。



図1Dに示すように、典型的な超音波データセット20は、扇状の体積空間を定義する複数のデータスライス20A、20B、20C . . . 20Xを有する。

本発明の別の局面によれば、1つのデータセットに対応するホログラムを様々な遠近から観察するのが望ましい。これに関して、ソフトウェア内のデータセットを操作して、得られるホログラムを別の観察点から、例えば、側部から、上部から、またはデータセットの軸の一方から所定の角度で観察し得ると有利である。

図1Fを参照してさらに詳しく述べれば、例示的なデータ

セット40は複数の間隔を開けたデータスライス42、例えばCTまたはMRスキャンに対応するデータスライスを有する。図1Fに示した例では、各スライス42は、各々が関連した特定の間隔を有する画素列を備えている。各データスライスを構成する画素数は、特に、データを生成するために用いられる装置の関数である。MRおよびCTデータは $512 \times 512$ のマトリックスとして生成されることが多い。従って、図1Fに示す各データスライスは、512個の画素を含む第1の寸法 $E_1$ と、同様に512個の画素を含む第2の寸法 $E_2$ とを有する。図1Fに示す例示的な実施態様では、データセット40は、望ましいデータスライス数、例えば100個に対応する第3の寸法 $E_3$ を有するものとして定義され得る。

軸Aに沿った観察のために、本発明の方法および装置に従ってデータセット40の複合ホログラムを生成することが望まれるときは、各データスライス42は以下に述べるように処理される。一方、異なる観察点、すなわち軸Aに沿った観察点以外の観察点から観察するためにデータセット40の複合ホログラムを構成することが望まれる場合は、マスターホログラムを生成する前にソフトウェア内のデータセット40を構成するデータを操作することが有利である。

詳しく述べれば、各々が軸Aに直交するように示されている軸Bまたは軸Cに沿って観察するための、データセット40のホログラムを構成することが望まれる。さらに、本発明の方法および装置に従ってデータセット40を操作して、

「軸から外れた」観察点を含むあらゆる所望の観察点から観察し得るホログラムを生成することが可能である。

次に、図1 Gに示すように、データセット40は、対応するホログラムが軸Bに沿った観察点から生成されるように適切に操作され得る。従って、データセット40は、各々が512個の画素を含む第1の寸法 $E_2$ と、最初にデータセット40を構成した100個のスライスに対応する第2の寸法 $E_3$ とを有する一連のスライス44に分割され得る。実際において、データセット40が図1 Gに示すように操作されると、データは、各々が第1の寸法 $E_2$ （512画素）と第2の寸法 $E_3$ （100スライス）とを有する512個の平行スライスに適切に転移される。図1 Gに示す512個のデータスライス44に対応する512個のホログラムを重ねて、軸Bに沿った観察に対する複合ホログラムを生成することが可能となる一方で、このようなホログラムを作製するために用いられる「スライス」数を減らすことが好適である。

本発明の1つの局面によれば、ホログラムを製造するために用いられるスライスの実効数を減らすことによって、軸B（または他の所望の方向）に沿った観察に対してホログラムを作製し得る。例えば、各々がデータセット40を構成する4つの連続スライス群を表す128個の混合スライス（ $512/4=128$ ）を生成し得る。

本発明のさらに別の局面によれば、各混合データスライスは都合のよい方法によって対応するデータスライス群から作

製され得る。例えば、各混合スライスを構成する各「画素」に対する中間調は、特定の混合データスライスによって表されるデータスライス群に関連する各画素の対応する中間調の関数として決定され得る。上述の例では、混合データスライスを構成する各画素には、特定の混合データスライスによって表される4つの本来のデータスライスに関連する4つの対応する画素の関数として値が割り当てられる。

本発明のさらに別の局面によれば、このような混合画素の中間調は、本来のデータスライスに対応する4つの画素に関連する中間調を平均化することによって

適切に決定される。あるいは、混合画素値は、4つの対応する本来の画素値の各々に関連する最大（または最小）中間調を選択することによって決定され得る。あるいは、混合画素値は、ホログラムによって表される物理的なシステムの関連部位に位置的に最も近い本来のスライスに対応する固有の本来の画素値の値を取り得る。操作されるデータの性質によって、前述の方法と他の方法とを組み合わせが、本発明において適切に用いられ得る。

実質的には、本発明においては、いかなる適切な体積的な構成もデータセットによって定義され得る。従って、各データスライスは特定のデータセットを構成する他のすべてのデータスライスに必ずしも平行ではないが、各データスライスが隣接するスライスに実質的に平行であるならば、かなり正確な画像が生成され得る。さらに、コンピュータプログラム

を用いてデータセットを再構成し、スキャナーの捕捉平面以外の平面に平行スライスを提供し得ることは当業者にとっては周知である。

現在知られているCTスキャンシステムは、例えば、256個のまたは512個の平方の画素マトリックスによって定義される解像度を有するデータスライスを生成する。さらに、このマトリックス内の各アドレスは、典型的には、12個のビット中間調によって定義される。CTスキャナーは従来はハウズフィールド（Hounsfield）単位で測定され、これにより空気はマイナス1,000の密度および水はゼロの密度を有する。従って、データスライス内の各画素は、従来のCTシステムにおいてはマイナス1,000から3,095（両端を含む）までの間の中間調を有し得る。人間の目は純白と純黒との間に最大約100の中間調を同時に感知し得るため、スライス内の各データポイントが約50から100の中間調の範囲（4,096の表示可能な中間調に対するものとして）のうちの1つを示すようにデータセットを操作することが望ましい。これらの中間調を再定義するプロセスは、「枠付け」（windowing）（放射線学）、「ストレッチ」（stretching）（遠隔探知／衛星撮像）、および「測光補正」（photometric correction）（天文学）のように様々に呼ばれる。

本発明者は、最適なコントラストは各データスライスをその内容に従って枠付

けすることによって得られ得ると判断した。例えば、検査の主体である骨の断面を描くCTデータス

ライスでは、関連するデータは、典型的には、マイナス600から1,400の範囲の中間調を示す。マイナス600より小さくまたは1,400より大きい中間調を示すデータスライスの領域は検査には関係ないため、1,400より上のすべての中間調を純白に対応する高い値に押し込め、またマイナス600より低い中間調を有するデータポイントを純黒に対応する低い値に押し込めるのが望まれる。

別の例として、脳物質のための通常の間調は、典型的には、約40の範囲内であり、一方、腫瘍組織に対応する中間調は120の範囲内であり得る。これらの値が4,096の中間調の範囲内で表されることになれば、人間の目が通常の脳と腫瘍組織とを区別するのは極めて困難となろう。従って、例えば140より大きい中間調を有するすべてのデータポイントを純白に対応する非常に高いレベルに押し込め、また、例えばマイナス30より低い中間調を有するデータポイントを純黒に対応する非常に低い値に押し込めることが望ましい。この方法でデータセットを枠付けすることにより、シャープではっきりとしたホログラムの生成が可能となる。

データセットをスライス対スライスベースで枠付けすることに加えて、所定の条件下では、特定のスライス内で例えば画素により異なる枠付けを行うことは有利である。例えば、所定の1つのスライスまたは連続したスライスにより脳内に深い腫瘍が示され得、この腫瘍は、例えば腫瘍を1つ以上の放射ビームにより照射することによる放射療法により処置さ

れることになる。照射されない予定の領域では、スライスは比較的暗い方法で枠付けされ得る。低レベルから中間レベルの放射がなされる予定の領域では、スライスは幾分明るく枠付けされ得る。高レベルの放射領域では、スライスはさらに明るく枠付けされ得る。最後に、実際に腫瘍を含む領域では、スライスは最も明るく枠付けされ得る。本発明においては、得られるホログラムは頭全体のぼんやりとした画像、より明るい脳領域、および現在照射されている（処置中にデータ

セットが取られる場合) かまたは照射される予定の領域である最も明るい領域を生成する。

データセット作製における別の工程は切り取り (cropping) である。この工程によって、各データスライスまたはデータスライス全体の検査とは関係ない領域は単に削除される。不必要なデータの切り取りもまたシャープではっきりとしたホログラムの形成に寄与する。

詳しくは、感光乳剤の体積内の各ポイントは、固有の観察点からホログラム画像全体に対応する微細な縞パターンを示す。別の言い方をすれば、ホログラム膜の左下隅の任意の点は、この特定の点から画像が見られるときホログラム画像全体を符号化する干渉縞パターンを有する。膜の中心近くのホログラム膜の別の任意の点は、画像が膜の中心から観察されるときホログラム画像全体を表す干渉縞パターンを有する。このような同じ現象はホログラムのすべての点に対して成り立つ。上記に簡単に述べたように、適切な写真基板は、好ま

しくは、例えばトリアセートのプラスチック基板の表面に接着する所定量の写真用感光乳剤を有する。感光乳剤は典型的にはゼラチン状の感光乳剤に懸濁された極めて多量のハロゲン化銀結晶 (粒) を有する。感光乳剤が有限量の結晶を含有する限り、データスライス内の不必要なデータの削除 (切り取り) により、各データスライスに対して変換 (露光) される実質的にすべてのハロゲン化銀粒が各スライスからの関連データに対応することが確実となる。各データスライスに対して変換されるハロゲン化銀粒の数を保持することによって、より多くのスライスが1つの特定の膜に記録され得る。

#### カメラシステム

データセットが適切に作製 (例えば、枠付けおよび切り取り) されると、各データスライスの個々のホログラムは単一の膜基板に重ねられマスターホログラムを生成する。好適な実施態様によれば、特定のデータスライスに対応する個々のホログラムが生成され、一方、特定のスライスに対応するデータが膜基板とは異なる距離で配置される。これについては後に詳述する。

図3～図4に示すように、本発明のカメラシステム300は、レーザ光源30

2、シャッター306、第1ミラー308、ビームスプリッタ装置310、第2ミラー312、参照ビーム拡張器314、コリメータレンズ316、膜支持体318、第3ミラー320、物体ビーム拡張器322、撮像装置328、投射光学装置324、偏光子327が取り付けら

れた分散表面472を有する後部投射スクリーン、およびトラック装置334を有する。撮像装置328、投射光学装置324、および後部投射スクリーン326はトラック装置334に堅固に取り付けられ、これにより、これら要素はトラック装置334が矢印Fによって示されるラインに沿って軸方向に移動するとき一体に移動する。後に詳述するように、トラック装置334は、ホログラムの主体を構成するデータスライスの相対位置を複製するように構成される。好適な実施態様では、トラック装置334の全行程は、例えば約6インチのデータセットを生成するのに用いられる特定の走査方法の実際の行程を十分に包含する。

カメラ装置300は、図示するように、周囲の振動から適切に隔離される堅固なテーブル304に取り付けられる。特に、物体ビームと参照ビームとの間の相互作用によって生成される干渉縞パターンは、ホログラムの主体である「物体」についての位相および振幅情報を内部に符号化している静的波面 (static wave front) である。物体ビームと、参照ビームと、ホログラムを記録する膜との間の相対移動はすべてこの静電気干渉パターンを妨害し、この結果、記録されたホログラムが著しく劣化する。従って、カメラ装置全体が外部の振動から隔離されるのが重要である。

振動の隔離を実現するためには、テーブル304は堅固な蜂の巣状 (honey comb) の上テーブル、例えば、Newport of Irvine, Californiaにより製造されるRSシリーズの製品RS-

512-18を有する。テーブル304は、複数 (例えば4個) の空気式の振動隔離装置 (pneumatic isolators)、例えば、同様にNewportによって製造されるStabilizer I-2000に取り付けられる。

カメラ装置を外部振動から空気式により隔離することとは別の方法として、カ

メラ装置を構成する様々な構成要素（テーブル304を含む）を堅固な材料により作製し、テーブル304にしっかりと取り付けることがある。このように非常に堅固なシステムは、外部または内部に生じる所定の程度の振動に対してはもろいが、このような振動に対応して堅固な単一体として移動しやすく、システムの様々な部分間の相対移動を低下させるように設計され得る。

装置に必然的に影響を与える低振幅の振動を補償するために、「縞ロック（fringe locking）」として知られる方法が用いられ得る。詳しくは、ホログラムが記録される膜に示される縞パターンは拡大され1つ以上のホトダイオードによって観察され得る（典型的な縞パターンは暗いラインと透明なラインとが交互に現れる領域を示す）。ホトダイオードによって検出される縞パターンのすべての移動を補償するために、参照ビームか物体ビームのいずれかの光路長を操作して安定した縞パターンを維持し得る。このためには、適切な構成要素、例えば、物体ビームまたは参照ビームを方向付けるために用いられるミラーの内の1つを圧電素子に取り付け得る。圧電素子は、圧電素子に印加される電圧信号に従って所定の

方向に僅かに移動するように構成される。ホトダイオードの出力はサーボループ（servo-loop）に印加され得、これは、ミラーが取り付けられる圧電素子に印加されると、直ちに光路長を補正してホトダイオードによって感知される縞パターンの移動を補償する。このようにして、カメラ装置を構成する様々な構成要素間の振幅の小さい相対移動は存在するが、これは前述の方法で補償され得る。

前述の縞ロックメカニズムは、フィードバック信号の振幅がシステムが受ける振動の程度を示すように適切に構成され得る。このフィードバック信号は電圧または電流信号の形態、または他のいかなる所望のパラメータであってもよい。特性（例えば、この信号の振幅）または他の所望の特性をモニタすることによって、振幅を直接測定する必要なく、振動の振幅を決定し得る。この結果、フィードバック信号は、所定のしきい値を超えるフィードバック信号（振動の強さを示す）が検出されるとき、警告ランプを点灯し、ホログラム作製プロセスを一時的に停止させ、または他の所望の出力を実行するために用いられ得る。例えば、高い

振幅、高い周波数、または高調波振動の間はホログラム作製プロセスを一時的に停止させ、望ましくない振動特性が終わるとプロセスを回復させ得る。

さらに、振動データの履歴において振動データを分析することによって、周期的な振動現象の将来の発生を予測しまたこれに従ってシステムを調整することが可能となり得る。

あるいは、カメラ装置300の選択された構成要素、および特に膜支持体319、分散器(diffuser)472、撮像装置328、投射光学装置324、分散器472、およびトラック装置334を一緒に取り付け得、これにより、これら構成要素間の相対移動が最小限にされる。この制約を満足させることにより、外部振動は本発明の方法に悪影響を与えない。この点において、上記の構成要素群を適切なバネメカニズム、例えば空気によるバネ、機械的なバネ、磁気または静電気によるバネメカニズムを介して吊り下げるかまたは懸垂することが望ましい。このようなバネメカニズムはまた能動的にまたは受動的に振動を制することを可能とする。

レーザ源302は従来のレーザビーム発生器、例えば、発光帯域の幅を小さくするためのエタロンを含むアルゴンイオンレーザ、好ましくはCoherent, Inc. of Palo Alto, Californiaにより製造されるInnova 306-SFを有する。レーザ302は400~750ナノメータ(nm)、好ましくは514.5または532nmの範囲の波長を有する単色ビームを生成することは当業者には周知である。しかし、紫外線および赤外線領域の波長を含み、選択された写真材料が適合するならばいかなる適切な波長を用いてもよいのは当業者には周知である。

あるいは、レーザ302は、532nmの波長でレーザ光を適切に発光する、固体ダイオードによる周波数2倍(frequency-doubled)のYAGレーザを有し得る。これらのレーザは純光の3~6億ワットの範囲で発光し得、極めて効率的である。

り、空気冷却され、また高い安定性を示す。

レーザ302はまた、参照ビームと物体ビームとが移動する全光路間の相違と



少なくとも同じ長さの、および好ましくはこの相違の少なくとも2倍の長さのコヒーレンス長を示すべきである。例示した実施態様では、参照ビームが移動する名目の設計光路長は物体ビームの光路長に等しい（約292センチメートル）。しかし、特に設定の位置、用いられる特定の参照角度、および膜の大きさにより、参照ビームおよび物体ビームのいくつかの成分は僅かに長いまたは短い光路長を移動し得る。従って、レーザ302はこの相違が過度の場合、すなわち約2メートルのコヒーレンス長を示す。

シャッター306は従来の電気機械シャッター、例えば、Vincent Associates of Rochester, New Yorkによって製造されるUniblitzモデル番号LCS4Zを有する。好適な実施態様では、シャッター306は遠隔作動され得、これにより参照ビームおよび物体ビームは膜基板の露光の間にのみ生成され、それ以外のときにはレーザ光をシステムから効果的に（例えばシャッター306を介して）分岐させる。パルスレーザ源が用いられる場合はシャッターを用いる必要はないことは当業者には周知である。さらに、複数のシャッター、例えば、参照ビームを選択的に制御するシャッターと物体ビームを個別に制御する別のシャッターを組み込んで、各ビームを個別に制御し得ること、例えば、参照ビームおよび物体ビームの各強度を膜表面で個別に測定および／または校正し得ることが望

ましい。

カメラ装置300に用いられる様々なミラー（例えば、第1ミラー308、第2ミラー312、第3ミラー320など）は、従来の前面ミラー、例えば、パイレックス基板にコートされた誘電性ミラー、例えば、Newportによって製造されるストックミラー10D20BD.1を有する。約1.5ミリメートルのビーム直径を有する典型的なレーザに対しては、ミラー308は直径が約1インチの表面を有する。

第1ミラー308は光源ビーム402をビームスプリッタ装置310に向けるように構成される。例示した実施態様では、第1ミラー308はビーム402の方向を90度だけ偏光する。しかし、カメラ装置300を構成する様々な光学要素の相対位置および様々なビームが移動する特定の光路はほとんど、これら利用可能な構成要素の物理的な大きさの関数である。作動する前提として、参照ビー

ムおよび物体ビームは同じレーザ源から発光して、膜支持体318の表面で参照ビームと物体ビームとの間に正しい相互関係が確実に得られること、およびビームスプリッタ310から膜319まで参照ビームが移動する光路がビームスプリッタ310から膜319まで物体ビームが移動する光路にほぼ等しいことが望ましい。

図4に示すように、ビームスプリッタ装置310は、好ましくは、可変波プレート (wave plate) 404、各固定波プレート408および412、各ビーム分割キューブ406およ

び414、ならびにミラー416を有する。全体的なレベルでは、ビームスプリッタ装置310は光源ビーム402を物体ビーム410と参照ビーム418とに分離するように機能する。さらに、図3に示すように、ビームスプリッタ装置310はまた撮像装置328および偏光子327と協働し、これにより、参照ビームと物体ビームとが膜支持体318に取り付けられた例示的な膜基板319に接触するとき、これらが同じ偏光状態で純粋に、すなわち後に詳述するように、実質的にSまたはP偏光されることが確実にとなる。参照ビームと物体ビームとが同じ偏光状態で純粋に偏光されるのを確実にすることによって、シャープで低ノイズの干渉縞パターンが形成され得る。

さらに図4に示すように、レーザ源302によって発生されるビーム402は比較的純粋な偏光状態で、例えばS偏光された光として、ビームスプリッタ装置310に入る。本発明においては、S偏光された光とは、垂直平面で発振する電界により偏光される光を意味し、P偏光された光とは、平行平面で方向付けられる電界を有する光を意味する。次にビーム402は、ビームをビーム403に変換する可変波プレート404を通過する。ビーム403は、SおよびP偏光成分の混合物を有するものとして便宜上定義される。次にビーム403はビーム分割キューブ406に入る。ビーム分割キューブはビーム403をビーム403のP偏光成分を含む第1ビーム405とビーム403のS偏光成分を含む第2ビーム

407とに分割するように適切に構成される。ビーム分割キューブ406は広域

帯ビームスプリッタ、例えば、Newportによって製造される広域帯偏光ビームスプリッタ、部品番号05FC16PB.3を有する。ビーム分割キューブ406は、理想的には、ビーム403のP偏光成分のすべて（およびこの成分のみ）を通し、403のS偏光成分のすべて（およびこの成分のみ）をそらすように構成されるが、このようなキューブは一般には不完全なビームスプリッタであり、ビームスプリッタ表面の反射による小さな損失は無視する。詳しくは、このようなキューブは典型的には約1000対1の消光比を示し、これにより、ビーム403のS偏光成分の約99.9%はビーム407へとそらされ、またビーム403のP偏光成分の約90%はキューブ406を通る。従って、ビーム407はビーム403のS偏光成分の99.9%とビーム403のP偏光成分の約10%とを含む。同様に、ビーム405はビーム403のP偏光成分の90%とビーム403のS偏光成分の約0.1%とを含む。

波プレート404、408、および412は使用するレーザ波長のための半波プレート、例えば、Newportによって製造される部品番号05RP02を有する。波プレート404は、S偏光ビーム402を所定の比率のSおよびP偏光成分に変換するように構成される。好適な実施態様では、可変波プレート404はLCD層を有し、この層はLCD層の電圧レベルに従って入力ビームの偏光を行う。適切な波プレート404は

Newportから市販されるLiquid-Crystal Light Control System 932-VISを有し得る。従って、波プレート404はS偏光ビーム402をSおよびP偏光の混合物に印加電圧の関数として分割する。波プレート404の電圧を操作することによって、オペレータは参照ビームの強度対物体ビームの強度の比率（ビーム比）を制御する。好適な実施態様では、膜319の平面で測定されたこの比率はほぼ1に等しい。

いかなる場合でも、波プレート404に印加される電圧に関係なく、ビーム405はほとんど完全に純粋にP偏光される。ビーム407は理想的には純粋にS偏光されるが、波プレート404に印加される電圧により、実質的にP偏光された成分を含む。

さらに図4に示すように、次にビーム405は波プレート408を通して移動し、純粋なP偏光ビーム405を純粋なS偏光物体ビーム410に変換する。ビーム407は波プレート412を通り、実質的にS偏光ビームを実質的にP偏光ビーム409に変換する。P偏光ビームはこの後分割キューブ414を通して異質のS成分を排除する。特に、ビーム409の残りのS成分の99.9%はビーム415としてキューブ414からそらされシステムから分岐される。本発明においては、システムから分岐されるかまたはこれから排除されるビームはすべて、ビームの強度および質をモニタするために都合よく用いられ得る。

ビーム409の大半を占めるP成分はキューブ414を通

って各ミラー416および312によって反射され、この結果、実質的に純粋なP偏光参照ビーム418が得られる。後に詳述するように、光源ビーム402を上記の方法で物体ビーム410と参照ビーム418とに分割することによって、物体ビームと参照ビームの両方は極めて純粋な偏光、例えば、約数千分の1の不純度を示す。さらに、ビーム比に関係なく高い偏光純度が得られ、これは可変波プレート404に印加される電圧を制御することによって都合よくおよび正確に制御される。

図3および図4にさらに示すように、ビーム418はミラー312から反射されビーム拡張器314に入る。ビーム拡張器314は好ましくは従来のポジティブレンズ421と極小の開口部420とを有する。ビーム拡張器314に入るときのビーム418の直径は約1.5ミリメートル（レーザ302から放出されたときと本質的に同じ直径）である。正のレンズ421はビーム418を可能な限り小さい焦点に集光させるように構成される。適切な正のレンズはNewportによって製造される顕微鏡の対物レンズM-20Xを有し得る。開口部420はピンホール開口部、例えば、Newportによって製造されるPH-15開口部を有する。基本横電磁モード（TEM<sub>00</sub>）で純粋な光を発光する良質のレーザにとっては、レンズ421のような良質のレンズは、典型的には、ビーム418を直径約10から15ミクロンに集光させ得る。焦点では、ビームは次に、直径約15ミクロンの小さなピンホールを有する開口部

420を通る。この方法でビームを集光させることによりビームのフーリエ変換が行われる。

図5A～図5Dを参照して詳しく述べれば、小径のレーザビームによって典型的に示される伝播のTEM<sub>00</sub>モードはビームの伝播方向を横断するガウス分布に従う。図5Aに特に示すように、これは、ビーム418のビームの強度(I)がビームの断面にわたってガウス分布を示すことを意味する。1ミリメートルの名目直径を有するガウスビームにとっては、極めて低い強度の少量のビームが1ミリメートルの領域を超えて広がる。

図5Bに示すように、図5Aに示す理想的な状態のさらに正確な表示は実質的にガウス分布を示すが、ミラーから反射され偏光されなどするときビームに必然的に与えられるランダムな高周波ノイズを含む。図5Bは図5Aの理論的なガウス分布と同じ基本的なガウス特性を示すが、ビーム形成リプルにランダムな高周波ノイズをさらに含む。

ノイズを含むガウスのフーリエ変換は同じ基本的なガウス特性を生成するが、図5Cに示すように、高周波ノイズ成分がウィング(wing)にシフトすることが知られている。ビームのフーリエ変換が、ビーム拡張器314の開口部420などの開口部を通過するとき、高周波ウィングがクリップされ、この結果、図5Dの極端にクリーンでノイズのないガウス分布が得られる。文字通りに、ビームを集光してポイント光源に近づけ、次に開口部に通すことにより、高周波ノイズをビ

ームの外部束縛にシフトさせノイズをクリップ(clipped)する効果を有する。

従って、ビーム拡張器314は、実質的にノイズのないガウス分布の発散参照ビーム423を生成する。

本発明の好ましい実施態様においては、レンズ421および開口部420は、たとえば、Newportにより製造されている空間フィルターモデル900のような、単一の一体型光学部品を有することが適切である。ビーム拡張器装置314は、レンズ421と開口部420との間隔を、たとえば約5ミリのオーダーで正確に制御し得るようにネジ山を有し、さらに、レンズ421の焦点に対する開口部の水平および垂直方向

の位置を制御するために2組の直行するネジを都合よく有している。

さらに図3を参照すると、ミラー312は、所定の角度でビーム423をフィルム319に照射するように適切に配置され、この所定の角度は、フィルム319を構成する物質のブルースター（Brewster's）角に近似である。ブルースター角は、ビームが入射する物質（ここではフィルム319）の屈折率のアークタンジェントとして定義されることは、当業者には理解されるであろう。このようなフィルムの一般的な屈折率は、約 $1.5 \pm 0.1$ の範囲である。従って、本発明の好ましい実施態様によると、ミラー312は、ビーム423が約56度（アークタンジェント15=56度）のブルースター角でフィルム319に入射するように配置される。面にブルースター角で入射したP偏光ビームは、その面で最小の反射しかせず、参照ビーム423のフィルム319へ

の屈折が最大となって、物体ビームとの干渉が最大になり、そうでなければ最終的に誤った方向からフィルムに入射することになり得る後方反射光を最小に抑えるということも、当業者には理解されるであろう。

次に、図4および6～7を参照すると、物体ビーム410は、ミラー320で反射されて、図4を参照して上述したビーム拡張器314と同様の構造および機能を持つビーム拡張器322の方に照射される。実質的にノイズのない、ガウス分布型発散物体ビーム411が、ビーム拡張器322から出射され、コリメートレンズ434により平行化され、約5センチの直径を有するコリメート物体ビーム436となる。コリメートレンズ434は、Newportにより製造されている両凸光学ガラスレンズKBX148を適切に有している。コリメート物体ビーム436は、撮像装置328に与えられる。

図7および8を参照すると、撮像装置328は、陰極線管（CRT）444と、ライトバルブ442と、波長板463と、偏光ビーム分割キューブ438とを適切に有している。好ましい実施態様においては、ビーム分割キューブ438は約5センチ平方（2インチ平方）の立方体である。下記に詳述するように、撮像装置328の動作によりデータスライスからのデータを組み込んだP偏光ビームからなるビーム460が、撮像装置328から出射し、投射光学装置324に与えられる。

上記のように、ホログラムの3次元対象に対応する、複数の2次元画像からな

るデータ集合が、マスターホログラムの

作成に使用するため準備される。このデータ集合は、従来の多目的コンピュータ（図示せず）の電子データファイルにも保存し得る。このコンピュータは、データスライスが撮像装置328内において順番に伝送されるように、C R T 444にインターフェースする。

より詳細には、第一データスライスが、C R T 444によりライトバルブ442に投射される。下記に詳述するように、このデータスライスに対応する画像がフィルム319に付与される。フィルム319がそのデータスライスに伴う縞パターンを捉える（記録する）のに十分な所定の時間の間、参照ビームおよび物体ビームがフィルム319に照射され、そのデータスライスのホログラムが乳剤含有フィルム319内で形成される。その後、トラック装置334が軸に沿って移動し、データスライス間の間隔に応じて、次のデータスライスがフィルム319上に投射され、この次のデータスライスに対応する次のホログラムがフィルム319に重ねられる。この工程は、フィルム319に重ねられたホログラムの数が、作成しようとするマスターホログラムの対象材料である特定量のデータセット16からなるデータスライス14の数に一致するまで、各データスライスについて連続して繰り返される。

さらに詳細には、図7および8を参照すると、C R T 444は、たとえばCarlsbad, CaliforniaのHughes Aircraft Companyによって製造されているH139T1などの従来の光ファイバーフェースプレートC R Tで適切に構成する。C R T 444は、特定の

データスライスに対応する画像を、ライトバルブ442の左側に投射するように配置される（図7）。

好ましい実施態様においては、ライトバルブ442は、Carlsbad, CaliforniaのHughes Aircraft Companyによって製造されている液晶ライトバルブH4160である。具体的に図8を参照して説明すると、ライトバルブ442は、好ましくは、光電陰極454と、鏡面を図8の右側に向けたミラー450と、液晶層452とを有している。液晶層452は、液晶の局在電圧レベルの関数として、通過する光の偏光を変化

させる、薄い板状の液晶を含有している。

光電陰極454は、入射光の関数として局在電圧レベルを示す、薄い板状の光起電力物質を含有している。特定のデータスライス14に対応する画像が、C R T 444によって光電陰極454に付与されると、付与された画像ビームの断面における光分布に直接対応して、光電陰極454の表面に局在光起電位が形成される。特に、C R T 444によって生成された、データスライスに対応するビームは、一般に、暗い背景上に、骨や柔軟組織などに相当する光領域を有している。暗い背景領域は、予想されるように、グレースケール値が低く、より明るいデータスライスの領域は、相応してグレースケール値が高い。投射画像に対応する電荷分布が、光電陰極454の表面に形成される。

特定のデータスライス14に組み込まれたデータの局所的な明るさの変化に対応した、光電陰極454上の非均一な静的電荷分布は、ミラー450を通り、液晶層452の表面上に、対応する

局在電圧レベルを形成する。このような液晶層452上の局在電圧レベルは、局所の電圧レベルに比例してその部分の液晶を回転させ、この光が液晶層452を通りミラー450によって反射されるに従って、キューブ438から鏡面450に向けられた純粋S偏光を、それに伴うP成分を有する偏光の局在領域に変化させる。出射光460は、（その断面に）液晶層452内の電圧分布に応じた、従って、その時に処理しているデータスライス14に対応する画像に応じた、P偏光の分布を有する。

ビーム436を構成するS偏光の実質的にすべて（つまり99.9%）が、キューブ438によって液晶層452に向けられる。このS偏光は、上記のように、液晶層452の表面の電圧分布に応じて、液晶層452によってP偏光に変換される。このP偏光はミラー450の鏡面によってキューブ438に戻るよう反射され、そしてP偏光はたやすくキューブ438を通過して投射光学装置324に入射する。

ミラー450の鏡面に反射されたビームのS成分は、ビーム分割キューブ438によって90度の方向に照射される。このS偏光の迷光がシステム中央に再入することを防ぐため、キューブ438をわずかに傾斜させて、このS偏光を有効にシステムからそらすことができる。



こうして得られたビーム460は、その時点でC R T 444によってライトバルブ442に投射されているデータスライスに組み込まれたデータに直接対応する、P 偏光分布をその断面に有している。キューブ438の消光比が高いため、ビーム460は実

質的にS 偏光を有していない。また、キューブ438によってライトバルブ442に反射されない、ビーム436を構成する少量のS 偏光（つまり、ビーム440）は、システムから巧妙にそらし得ることに留意されたい。

ビーム分割キューブ438は、図4に基づいて説明したビーム分割キューブ406および414と同様の構造および機能を有しており、好ましくは、たとえば、Albuquerque, New MexicoのCVI Laser Corporateによって製造されているPBS-5145-200などの、大きな広帯域偏光ビーム分割器からなる。好ましい実施態様においては、ビーム分割キューブ438は、少なくとも、C R T 444によってライトバルブ442に投射される画像と同じ、つまり2インチの断面を有する。これは、レーザー302からの拡大されていないビーム402の直径に匹敵する、より小さな断面、つまり1.5インチの断面を持ち得ることが有利なビーム分割キューブ406および414とは対照的である。

本発明の関連においては、システムから除去される、排除される、または逸らされるなど様々に表現される光は、あらゆる数の、適切な方法によって処理され得る。たとえば、そのような光は、ブラックボックス内に向けたり、あるいは黒い、好ましくは織物の表面上に向けたりし得る。光を逸らす正確な方法、またはその光を逸らす特定の位置は、ほとんどが便宜上の問題である。重要なのは、（本明細書に述べる理由により）システムから除去される光が、ホログラムのフィルム面に入射することを防ぐことであり、さらに、レーザー

の妨害や、レーザーの破損さえをも招き得る、そのような光のレーザー源への再侵入を防ぐことである。

投射光学328は、ライトバルブ442を有するように図示されているが、本発明の関連においては、データスライスに対応する画像を物体ビームに効果的に統合す

るいかなる適切なメカニズムも同等の働きをし得る。実際、ビーム光460は、キューブ438から出射した後には、その時点で処理されているデータスライス14のデータの分布に応じて強度の変化する非均一なP偏光の分布を有しているだけである。ビーム460の断面は、インスタントデータスライスの写真スライドを通過したP偏光の仮想ビームと実質的に同一である。

さらに、データをライトバルブ442に投射するために、C R T 444に加えて、またはC R T 444の代わりに、いかなる適切なメカニズムも採用し得る。たとえば、反射L C D、透過L C Dまたは透過反射(transflective) L C Dを採用し得、そのパネルに画素ごとに選択的にエネルギーを付与して、それぞれの特定のデータスライスに対応するデータを複製し得る。

あるいは、たとえばレーザービームなどの適切なビームを、ライトバルブ442の裏面上で適切にラスタ走査し、各データスライスに対応するデータを複製し得る。

C R T 444は図7ではライトバルブ442に隣接するように示されているが、さらに他の実施態様においては、C R T 444がライトバルブ442から離れるように投射装置を配置することが望ましい。C R T 444の直径がライトバルブ442の直径より大

きく、C R T 444によって投射される画像を、たとえば両者の間に配置した適切なレンズを用いるなどして、ライトバルブ442の裏面に投射することが望ましい場合に、この二つを離して配置することが望ましい。さらに、干渉レンズを用いるか否かにかかわらず、また、この両者を離す距離の大小にかかわらず、ライトバルブ442とC R T 444との間に光ファイバー結合を用いることが望ましいこともある。

さらに、投射光学328全体を、物体ビーム路に適切に配置した適切な空間光変調器(S L M: 図示せず)に置き換え得る。このようにすると、物体ビームを構成するレーザー光がS L Mを通過し、特定の画像に対応する情報を物体ビームに与える。使用するS L Mの種類に応じて、S L Mとフィルムホルダー319との間に必要に応じてディフューザーを設けて、または設けずに、このような構成を採

用し得る。

さらに図7および8を参照すると、波長板463は、ライトバルブ442とビーム分割キューブ438との間に適切に介設される。波長板463は、ライトバルブ442が本来的に生成する、ある種の好ましくない偏光を補正する役割を果たす。

さらに詳しくは、ライトバルブ442は、液晶層452の局所電圧分布に応じて、液晶層452を通過した光を偏光する。つまり、印加された電圧がたとえば楕円に液晶を回転させるが、この回転の量は局在電圧レベルに比例する。すなわち、非常に高い電圧では液晶の回転が大きくなり、回転した液晶を通過する光の偏光が高い度合いで変化させられる。他方、非常に低

い電圧では、相応して液晶の回転が小さく、それに相応して偏光のレベルの変化も小さくなる。しかし、電圧印加のない時にもわずかな液晶の回転（プレティルト）が存在することが観察されている。従って、電圧の印加されていない液晶層452の局所領域においても、液晶層452を通過するS偏光の約1パーセントが、P偏光に変換される。この非常に小さな疑似偏光は、たいていの場合にはライトバルブ442の性能を劣化させることは一般にないが、本発明の関連においては問題となり得る。たとえば、純粋S偏光の1パーセントが、偶然にP偏光に変換された場合、得られるホログラムのコントラスト比が実質的に制限され得る。

波長板463は、たとえば、通過する光に所定の偏光を与えることによって、上記の残留偏光を補償するように配置されており、この所定の偏光は、電圧印加のない状態で液晶層452によって誘発される偏光の量を正確に相殺するように計算される。この望ましくない偏光を排除することによって、得られるホログラムの有効コントラスト比は、様々な工程パラメーターで行われる制御の度合い、およびカメラ装置300を含有する装置の本来の性能によってのみ制限される。

図6および7を参照すると、投射光学装置324は、投射レンズ462と、ミラー464と、開口部466とを適切に有する。レンズ462は、好ましくは、ライトバルブ442および後部投射スクリーン326に用いられる特定の画像サイズに最適化された末端中心（telocentric）の投射レンズからなる。レンズ462は、収束

ビームがミラー464に入射した後で焦点に収束するまで、コリメートビーム460を収束させ、その後、この収束ビームは発散ビーム470となり、その時点で処理されているデータスライス14に対応するデータを投射スクリーン326およびフィルム319の上に効果的に画像形成する。ビーム470は、ほぼ焦点に達する地点で開口部466を通過する。開口部466は、好ましくは、Newportによって製造されているアイリス絞りID-0.5でなる。しかし、開口部466は、ビーム470が開口部466を通過する地点において、ビーム470の直径よりも実質的に大きいことに留意されたい。これは、ビームから高周波成分を除去する役割を果たす、ビーム拡張器314および322に設けられたピンホール開口部とは対照的である。ビーム460および470に含まれる高周波成分は、形成しようとするホログラム対象であるデータに対応し得るため、本発明では重要である。開口部466は、散乱光、および、開口部がなければ、誤った方向に向けられるビーム470に伴った光、または、投射スクリーン326に映ってしまう光、およびデータスライス14のデータに対応する情報に関係のない光を、捉えて逸らすのみである。

さらに続けて図6を参照すると、ビーム470は、焦点のあった画像を後部投射スクリーン326に映すために投射される。スクリーン326は、幅が14インチのオーダーで、高さが12インチであり、好ましくは、たとえば、0.5インチの厚さのガラス板472である、硬質の透明基板の一方の面に付着させた、薄い平坦な拡散物質からなる。ディフューザー472は、たとえば、T

orrance, CaliforniaのStewart Filmscreen Corporationによって製造されているLumiglas-130などの拡散物質から製造される。ディフューザー472は、ビーム470内の各点がフィルム319の表面領域全体にわたって可視となるように、ビーム470を拡散する。たとえば、ビーム470の例示点Yは、点Yにおける物体ビームが、フィルム319上で円錐Y'で示される円錐形の広がりとなるように、ディフューザー472によって拡散される。同様に、ディフューザー472上の任意の点Xは、フィルム319上で拡散された円錐形の広がりとなる。画像がディフューザー472を通過するにつれて、この現象は投射された画像のすべての点について成立する。その結果、フィルム319上の各点は、ディフューザー472上の各点についての振幅

および位相を符号化する縞パターンを表すことになる。

拡散を行うディフューザー472上の各点からの光が、フィルム319の全表面に拡散されるため、投射される画像がディフューザー472に現れるにつれて、フィルム319上の各点が投射された画像のあらゆる点を「見る」ことになる。しかし、フィルム319の各点は、画像がディフューザー472に現れるにつれて、必ず、わずかに異なる遠近法によって画像全体を見ることになる。たとえば、フィルム319上の任意の点Zは、ディフューザー472上のあらゆる点を「見る」。さらに、フィルム319上の任意の点Wも、点Zとは非常に異なった遠近法によってではあるが、ディフューザー472上のあらゆる点を「見る」。このように、ディフューザー472および偏光子327から出射し

た後、物体ビーム473に伴う拡散画像は、フィルム319に付与される。

偏光子327は、拡散を行うディフューザー472の表面に都合よく設置されている。拡散を行うディフューザー472に入射する光（ビーム470）は、実質的にはP偏光されているが、ディフューザー472は、その性質により、通過する光を散乱させて、一般にその光の一部を減偏光する。たとえば、薄い板状の偏光シートである偏光子327は、光を再偏光して、その光がフィルム319に達する時には実質的に純粋P偏光状態になっているようにする。ディフューザー472によって不適切に偏光された光が吸収されるように、偏光子327はディフューザー472の後に配置されていることに留意されたい。これによって、実質的にP偏光された物体ビームの大半が、フィルム319において参照ビームと確実に干渉し、各ホログラムのコントラストをさらに向上させる。

さらに続けて図6を参照すると、ディフューザー472は、あるいは、拡散機能を実行するために、公知の方法によって構成されたホログラフィー光学素子からなり得る。さらに別の実施態様においては、もう1つのレンズ（図示せず）を、たとえばディフューザー472と撮像装置328との間に、ディフューザー472に隣接させて配置し得る。適切なレンズを使用することによって、ディフューザー472から出射する実質的にすべての光を、ディフューザー472から実質的に垂直に出射させることができる。その結果、物体ビームが、実質的に平行にフ

フィルム基板319に入射するように、つまり物体ビームの実質的にすべての成分がフィルム基板319に実質的に垂直に入射するようになし得る。

ディフューザー472からフィルム319に伝搬する複合物体ビーム面をフィルム内に符号化する、すなわち、静的干渉パターンの形態にする方法は、ホログラフィー再生の本質である。フィルム内に符号化された干渉（縞）パターンが、物体ビームと参照ビームとの間の構築および破壊相互作用の結果であることは、当業者には理解されるであろう。その場合、物体ビームと参照ビームとが同一の波長の光からなることが重要である。異なる波長の2つのビーム光も相互作用するが、この相互作用は、特定の面または薄い体積（たとえば記録フィルムの「面」）においては一定ではない。むしろ、この相互作用は、2つの波長の経時変化作用である。

本発明による、物体ビームと参照ビームとの間の静的な（経時変化のない）相互作用は、参照ビームおよび物体ビームの光源の単色性（すなわち、適切なコヒーレント長を有する、単色レーザー源302）に起因する。さらに、最大の相互作用は同一の偏光状態にあるビーム光の間に起こることも、当業者には理解しえるであろう。従って、物体ビームと参照ビームとの間の最大相互作用は、それぞれのビームを、確実に、フィルム319の表面で、同一の偏光状態で純粋偏光することによって得られ得る。図6に示した構成で配置されているフィルムについては、本発明の発明者はP偏光が最良の縞パター

ンを形成することを見いだした。従って、物体ビーム470と参照ビーム423との間の相互作用を助長するために、ビーム470がディフューザー472の表面に付着された偏光スクリーン327を通過する。

純粋P偏光参照ビーム423は、コリメートレンズ316を通過して、フィルム319に入射する前に平行化される。参照ビームと物体ビームとの両方が同一のレーザー302から照射されるため、さらに、レーザーからフィルム319までそれぞれのビームが伝搬される経路が異なっているのに比して、レーザー302のコヒーレント長が比較的長いことを考慮して、フィルム319に入射する参照ビームと物体ビームとは、互いに可干渉性であり、単色（たとえば514.5nm）であり、高度に純粋P

偏光されており、従って、非常に相関依存している。加えて、参照ビーム423は、高オーダー (highly orderd) のビームであり、本質的のノイズがなく平行ビームである。一方、物体ビーム470は、その時点で処理されているデータスライスからのデータを取り込んだ複雑な波面である。これらの2つの波が、乳剤含有フィルム319内で大規模な相互作用を起こし、静的な静止波形パターンを作り出す。この静止波形パターンは、構築および破壊干涉の度合いが高い。特に、乳剤内のあらゆる特定の地点におけるエネルギーレベルEは、以下のように表し得る：

$$E = [A_o \cos \beta_o + A_y \cos \beta_y]^2$$

ここで、 $A_o$  および  $A_y$  は、それぞれ、特定の点における物体ビームおよび参照ビームのピーク振幅を表し、 $\beta_o$  および  $\beta_y$

は、同じ点における物体ビームおよび参照ビームの位相を表す。位相のコサインは、いかなる点においても、正であるのと同様の確率で負であるため、エネルギー値Eはいかなる点においても0から  $4 A_o^2$  (単一ビーム比において  $A_o = A_y$ ) の範囲にあることに留意されたい。この構築および破壊波干涉によって、精細な縞パターンが形成される。

一時的に図12を参照すると、参照ビームと物体ビームと再生ビームとの相対方向が、光が物質を通過する際の屈折効果を考慮せずに、伝送ホログラム (図12Aおよび12B) と反射ホログラム (図12Cおよび12D) の関連で示されている。

縞パターンが内部に記録される乳剤は、一般に約6ミクロンのオーダーの厚さである。特に図12Aを参照すると、黒白交互の線の縞パターンは、ベネチアンブラインドの横板のように乳剤を渡り、一般に、参照ビーム (RB) と物体ビーム (OB) との間の角度を二分する線に平行である。図12Aおよび12Bに示した伝送ホログラムが再生ビーム (PB) によって再生される時、縞パターンは部分的に鏡のように作用する。従って、観察者32は、再生ビームが照射されるのとは反対側から伝送ホログラムを見ることになる。

一方、反射ホログラムにおいては、縞の線はフィルムの面に実質的に平行である (図12Cおよび12D)。反射ホログラムは、一般に、フィルムの反対の方向から参照ビームと物体ビームとを照射することによって作成される。反射ホログラム

を再生する時には、再生ビーム（P B）は参照ビーム（R B）

が照射される方向と同じ側から照射され、当初の物体ビーム（O B）の照射に沿って再生ビーム（P B）を反射させる。本発明の多くの局面が反射ホログラムについて採用され得るが、本明細書に記載の装置および方法は、伝送ホログラムに用いることが最も適切である。さらに、フィルムが、特に垂直面に装着される時には、装着面上よりもその面に垂直な疑似運動にいつそう影響されやすくなるため、伝送ホログラムは作成中の振動に対する過敏さが少ない。

さらに続けて図12Aを参照すると、物体ビーム（O B）と参照ビーム（R B）とは、暗い線と透明な線が交互に並ぶ形での微細な縞パターンの記録を乳剤内に形成する。暗い領域は、一般に、ハロゲン化銀結晶を変換するのに十分な比較的高い局在エネルギーレベルに対応し、これによって干渉パターンの記録を生成する。

データスライスのそれぞれについて、そのデータスライスに相応したハロゲン化銀粒子の一部を変換するのに十分な所定の露光時間の間、フィルム319は静止波パターンで露光される。

フィルム319を特定のデータスライスに対応する干渉パターンで露光した後、トラック装置334を、データスライス間の距離に比例した所定量だけ前方に（あるいは後方に）移動させる。たとえば、実物大のホログラムをC Tデータから生成しようとする場合には、この距離は、データスライスを生成した時に対象（たとえば患者）が伝送された距離に正確に合致

することが適切である。実物よりも大きなもしくは小さなホログラムを生成しようとする場合には、この距離は場合に依じて変えられる。

本発明の好ましい実施態様によると、フィルム319は、たとえばAGFA Inc.によって製造されているフィルムNo. 8E 56HDのようなHOLOTEST（商標名）ホログラフィーフィルムからなることが適切である。このフィルムは、プラスチック基板の表面上に調製されたゼラチン状の乳剤からなることが適切である。典型的なフィルムは.015インチのオーダーの厚さを有し得、乳剤層は一般に約6ミクロンの



オーダーの厚さである。

1980年代前半において、商業的なホログラフィーフィルムは、その優れた物理的特性（耐裂断性、耐屈曲性、像の変動に対する耐性など）のため、主に、ポリエステルからなるプラスチック基板を用いて作られていた。しかし、一般のポリエステルはある程度の複屈折性を有しており、つまり、入射ビームのP成分が、S成分とは異なる比率で（従って、異なる方向に）物質を通して伝達される。たとえば白色光源などの、非偏光の光源を用いて記録または再生されるホログラムについては、白色光の中の様々な成分が物質内を異なる方向に伝送され、再生されたホログラムの忠実度が損なわれる。その結果、産業的には、現在は一般に、入射光の偏光に対する影響が小さいため、非複屈折のトリアセート基板を採用している。

本発明の1つの局面によると、参照ビームと物体ビームの

双方のホログラフィーフィルムへの入射は、マスターホログラムの作成中、またはコピーホログラムの作成中に、実質的に純粋に偏光される。そのため、ポリエステルの複屈折性は対象ホログラムに悪影響を及ぼすことがない。さらに、伝送ホログラフィーにおいては、参照ビームおよび物体ビームは、いずれかのビームが基板に到達する以前に乳剤において相互作用するように配置され得、そのため、この理由によっても、複屈折はあまり問題にはならない。従って、本発明の関連で用いられるホログラフィーフィルムは、一般に、ポリエステルの裏打ちを有し、従来技術のシステムに伴っていた欠点を有することなく、このフィルムの優れた物理特性を活用している。

入射光に関する振幅情報がフィルムの乳剤内に記録されている従来の写真とは異なり、ホログラムは振幅と位相双方の情報記録を含有する。ホログラムを作成する際に用いられた光と同じ波長の光を用いてホログラムを再生すると、フィルムから出射される光は、それがフィルム内に「凍結された」時とまったく同様に、その位相および振幅情報を実質的に変化させないままに伝搬し続ける。しかし、振幅および位相情報が記録されているメカニズムについては、広く理解されているわけではない。

上述したように、本発明の参照ビームと物体ビームとは、フィルム319の表面においては同一の波長および偏光状態である。これらの2つの波面の間の相互作用が、静止した（静的）

波面を作り出し、この波面は乳剤の厚さに渡って伸びている。物体ビームと参照ビームとが構築的に相互作用する乳剤内の点においては、いずれかのビームが独立して存在しているところより高いエネルギーレベルが存在する。参照ビームと物体ビームとが破壊的に相互作用する乳剤内の点においては、少なくとも一方のビームによるエネルギーレベルよりは低いエネルギーレベルが存在する。さらに、それぞれのビームの相互作用点における瞬間振幅は、その点におけるビームのピーク振幅と位相のコサインとの積によって定められる。従って、ホログラム分野では波の振幅および位相情報を記録すると言っているが、実際には、位相情報は、波の特定の点における波の瞬間振幅がその点における位相の関数であるという事実のおかげで「記録されている」のである。3次元の乳剤における、参照ビームと物体ビームとの間の静的干渉パターンの瞬間振幅と位相とを記録することによって、フィルム319の面から見た対象物の「3次元画像」が記録される。この記録には、振幅および位相の情報が含まれているので、3次元画像は、ホログラムが再生されるとき再び生成される。

データ集合に含まれるそれぞれのデータスライスを上記のようにしてフィルム319に記録した後、フィルム319をフィルムホルダー318からはずして現像する。

上に述べたように、本発明で用いられる写真乳剤は、ゼラチン状乳剤に懸濁された多数のハロゲン化銀結晶を含有している。これに関連しては、いかなる適切な感光性元素を用い

ることもできるが、ハロゲン化銀結晶は、一般に、その他の公知の感光性元素より、1,000倍のオーダーで光に対しての感度が高い。その結果ハロゲン化銀を露光する時間が短くなるため、疑似振動がホログラムの質を大きく損なうホログラフィーに応用する際には、その適応度が非常に高くなる。一定のレーザー出力での露光時間を短くすることによって、振動の影響が最小に抑えられる。

同じく上に述べたように、複数のデータスライスそれぞれに対応するホログラムを、フィルム319上に連続して符号化する。特定のデータ集合に含まれるそれぞれのスライスをフィルムに記録した後、フィルムをカメラ装置300からはずして現像する。特定の現像工程を詳述する前に、ハロゲン化銀結晶のホログラフィーに対する作用を理解しておくことが有用である。

従来の写真においては、振幅ホログラフィーと同様に、しきい値エネルギーレベルでしきい値露光時間露光されるハロゲン化銀結晶は、潜在性のハロゲン化で銀粒子になる。それに引き続いて現像剤に浸漬すると、潜在性ハロゲン化銀粒子は銀結晶に変換される。ここで、特定のハロゲン化銀粒子は二値データのみを保持することに留意することが重要である。つまり、現像の間に、特定のハロゲン化銀粒子は、銀結晶に変換されるか、もしくはハロゲン化銀粒子のまま残存するかのいずれかである。用いられた現像技術によって、ハロゲン化銀粒子が、最終的に暗い領域に対応し、銀結晶が明るい領

域に対応するか、あるいはその逆になるかが決まる。いずれにせよ、特定のハロゲン化銀粒子は、銀に変換されるか、変化しないままかであり、そのため、その粒子は最終製品において” on”（ロジックハイ）または” off”（ロジックロウ）となる。

従来の写真および振幅ホログラフィーにおいては、露光されたフィルムは、潜在性ハロゲン化銀粒子を銀粒子に変換するものの、露光されていないハロゲン化銀粒子にはほとんど影響を与えない現像液（現像剤）に浸けられる。現像されたフィルムは、フィルムの未露光領域の透明な乳剤と、フィルムの露光領域の乳剤中の銀結晶とを残して、未露光のハロゲン化銀粒子を除去する固定剤に浸けられる。しかし、変換された銀結晶は外見が黒く、そのため光を吸収または散乱しやすく、得られるホログラムの有効性が阻害されることは、当業者には理解されているであろう。

これに対して、位相ホログラフィーにおいては、未露光のハロゲン化銀粒子は変化させずに、変換された不透明な銀を除去するために、露光されたフィルムを漂白する。そのため、漂白後、フィルムは銀もハロゲン化銀も含まない、純粋な

ゼラチン状乳剤の領域（露光領域に対応する）と、ハロゲン化銀を含むゼラチン状乳剤の領域（未露光領域に対応する）とを有することになる。位相ホログラフイーは、とりわけ、ゼラチン含有銀が純粋なゼラチンとは非常に異なる屈折率を有しており、そのため、透過する光に、相応した異なった回折

が起こるという事実に基づくものである。

こうして得られる漂白フィルムは、従って、屈折率の高い線と低い線とを交互に有する縞パターンを持っている。しかし、いずれの物質も不透明な銀結晶を有してはおらず、不透明な銀結晶が有意の量の光を吸収または散乱する振幅ホログラフイー技術とは異なり、ホログラムの再生に用いられる光のうち実質的にわずかな量しかホログラムに吸収されない。

より詳しくは、本発明は、たとえば、Willow Grove, PennsylvaniaのHope Industriesによって製造されているHope RA2016V現像装置による、6段階の現像計画を目指すものである。

段階1において、フィルムを水性現像剤で現像して、潜在性ハロゲン化銀粒子を銀結晶に変換するが、この現像剤は、蒸留水の水溶液（たとえば1800ml）中に、アスコルビン酸（たとえば30.0g）、炭酸ナトリウム（たとえば40.0g）、水酸化ナトリウム（たとえば12.0g）、臭化ナトリウム（たとえば1.9g）、フェニドン（たとえば0.6g）を混合し、蒸留水を2リットルの現像液にすることによって得られる。

段階2においては、フィルムを洗浄して段階1の現像処理を停止させる。

段階3は、蒸留水（たとえば7200.0ml）とニクロム酸ナトリウム（たとえば19.0g）と硫酸（たとえば24.0ml）とを含有する8リットルの漂白溶液にフィルムを浸ける工程からなる。段階3では、現像された銀結晶を乳剤から除去する。

段階4は、段階3の漂白剤を除去するためにフィルムを洗

浄する工程からなる。

段階5は、フィルムを、蒸留水（50.0ml）とヨー化カリウム（2.5g）とKodak PHOTO-FL0（5.0ml）とを含有する1リットルの安定剤に浸ける工程からなる。こ

の安定段階によって、残存するハロゲン化銀粒子を減感して、次の露光に対する長期安定性を向上させる。

段階6では、従来の温風乾燥段階によってフィルムを乾燥させる。段階6は、華氏100度で行うことが適切である。段階1および3は、華氏86度で行われ、その他の段階は室温で行われる。

ここで、一時的に図12AおよびBを参照すると、本発明によって作成された、屈折率の高低を交互にした位相ホログラムが、黒と白との領域によって示されている。再生ビーム(PB)でホログラムを照射すると、高密度領域では入射光は低密度領域とは異なる回折がなされ、観察者32が見た時に明るい拡散画像となる。図12Bは、再生メカニズムを反射現象として模式的に示しているが、本発明の発明者は、正確な再生メカニズムは、実際に、文字通り縞表面で光が反射されるのではなく、様々な縞の周囲で実際に光が「屈曲する」という、波メカニズムに基づく現象であることを確認している。

フィルム319の現象を終える際に、得られるマスターホログラムを用いて1つまたはそれ以上のコピーを作ることできる。

本発明の1つの局面によると、マスターホログラムのコピ

ーを作成して、ホログラムを見る時には直接マスターホログラムを再生して見るよりは、コピーを再生することが望ましい。図10を参照すると、図10Aは、マスターホログラムを再生するコリメート再生ビームPBを示したものであり、ビームPBはホログラム(H1)を作成するのに用いられたコリメート参照ビームと同一の方向からフィルムに照射される。これを整像復元と呼ぶ。これは、図10の各画像1002に相当するデータスライスが、参照ビームとしてフィルムの同じ側から照射されている、図3のレイアウトに合致している。しかし、観察者1004から見ると、復元された画像は、観察者とは逆の側にあるように見える。復元画像1002は、実際にホログラムH1の後ろにあるわけではないが、鏡に映った対象物が鏡の後ろにあるように見えるのと同様に、後ろにあるように見える。

一時的に図10Bを参照すると、ホログラムH1は逆転され、再生ビームPBによって再生される。擬視構成として知られているこの配置では、画像1002は、観察

者と再生されているフィルムとの間にあるように見える。マスターホログラムH1をコピー装置900でコピーすると、図10Bに示した擬視構成が本質的に復元されるが、ここで、マスターホログラムはH1として示され、コピーホログラムに相当するホログラフィーフィルムは面P上の画像1002内に位置する。図10Bに示した装置は、コピーフィルム（面P）が画像1002の中央に位置するように示されており、そのため、再生された時に、3次元画像の半分がフィルムの前方に、3次元画像の残り半分がフィルムの

後方に投影するように見えるコピーホログラムが形成されている。しかし、本発明の別の実施態様では、面Pをデータ集合のいずれの望ましい位置に設定するようにも、3次元画像のどの対応部分ともフィルムの装着された面の前または後ろに伸びるようにも、コピー装置を配置することができる。

#### コピー装置

図9を参照すると、コピー装置900は、図3に関連して説明したように、カメラ部品3が台304に設置されるのと同様に、適切に台904に設置されている。コピー装置900は、レーザー源824と、ミラー810、812、820および850と、ビーム分割立方体818と、波長板816と、ビームエキスパンダー813および821と、コリメートレンズ830および832と、レンズ836Aおよび836Bを有するマスターフィルムホルダー834と、コピーフィルム基板H2を所定の場所に保持するために配置された前面840を有するコピーフィルムホルダー838とを有することが適切である。

フィルムホルダー838と、所望の場合にはフィルムホルダー834および318とは、フィルムとフィルムホルダーとの間を真空にしてフィルムを所定位置に保持するために、たとえば真空線842などの真空装置を備えることが適切である。フィルムとホルダーとを密着させることによって、フィルムに記録される干渉縞パターンに悪影響を及ぼし得る、振動その他のフィルムの疑似運動の効果を、実質的に減少させることができる。

る。

フィルムホルダー838と318とは、面上での望ましくない反射光を抑えるために

、不透明な非反射性の（たとえば黒い）表面を有することが望ましい。一方、フィルムホルダー834は、物体ビームがフィルムホルダー838に至るまでに通過する必要があるため、透明な表面を必ず有していなければならない。従って、不透明なフィルムホルダーは、所望の場合には、真空表面を有して、保持されるフィルムが確実に真空表面全体に真空保持されるようにし得る。一方、透明のフィルムホルダー834は、そこに保持されるフィルムの対応する周辺部が、周辺真空チャネルによってホルダー内に維持されるような、周辺チャネルを有していることが適切である。ガラスその他の透明な表面を周辺チャネルに設けることが適切であり得、フィルムとガラス表面との間に閉じこめられ得る空気を除去するためにローラーを用い得る。

本発明の好ましい実施態様においては上記の真空フィルム保持技術を用いているが、本発明の関連においては、フィルムを保持するためのいかなるメカニズムも適切に採用し得、そのメカニズムとしては、静電フィルムホルダーの使用、フィルムを密接に挟み込む1組の対向ガラス板、フィルムの周辺を挟んでその表面張力を維持する適切なメカニズムの使用、あるいは、フィルムを密封チャンバーの一方の表面に確実に保持するために圧縮空気を内部に保持し、このチャンバーがさらに、フィルムを保持しているのとは別のセル表面に設け

た、圧縮空気を抜くための排気穴を有している密封セルの使用などが挙げられる。

さらに続けて図9を参照すると、レーザー源824は、レーザー302と類似していることが適切であり、マスターホログラムを作成するのに用いられたのと同じ波長（たとえば514.5nm）のレーザー光を適切に生成する。あるいは、参照ビームがフィルムH1に照射される角度がその波長に応じて変化するならば、コピーを作成するためのレーザー源は、異なった、しかし所定の波長光を用いることもできる。ホログラムH1を照射する参照ビームの波長（ $\lambda$ ）は、その入射角のサインに比例する、つまり、 $\lambda = K \sin \theta$ であるということは、当業者には理解されるであろう。さらに、現像パラメーターを操作して乳剤を収縮または拡大することによって、波長と入射角との関係を、さらに、入射角と参照ビーム波長との関係

に応じて調整することができる。

レーザー824からの光源ビーム825は、波長板816を介してミラー812に反射され、立方体818に入射する。可変波長板816と立方体818とは、上記に図3に関連して説明したビーム分割装置310と同様に機能する。実際、本発明の好ましい実施態様においては、ビーム分割器310とほぼ同様のビーム分割装置を、波長板816と立方体818との代わりにコピーシステム900で用いているが、わかりやすく示すために、図9ではビーム分割装置を立方体18および波長板816として模式的に示している。

ビーム分割立方体818は、光源ビーム825を、S偏光物体ビーム806とP偏光参照ビーム852とに分割する。物体ビーム806は、ビーム806をP偏光ビームに変換する波長板814を通過し、変換されたP偏光ビームは、ピンホール（図示せず）を有するビーム拡大装置813を通過し、参照ビーム852は同様のビームエキスパンダー821を通過する。それぞれのビーム拡大装置813と821とは、上記に図3に関連して説明したビーム拡大装置314と同様の構造および機能を有する。

物体ビーム806は、ミラー850で反射されレンズ832で平行化される発散ビームとしてビームエキスパンダー813から出射する。参照ビーム852はミラー820で反射され、レンズ830で平行化される。仮想ビーム802および856は実際には存在せず、物体ビームと参照ビームそれぞれの見かけの光源を示すために図9に図示されているにすぎないことに留意されたい。また、物体ビーム806と参照ビーム852とはともに純粋P偏光であることにも注意されたい。

カメラ装置300で作成された、上述のマスターホログラムは、図9にH1として示した透明のフィルムホルダー834に装着される。露光前のフィルム基板319と同一構造であることが適切な第二フィルムH2は、フィルムホルダー838に装着される。物体ビーム806をフィルムH1のブルースター角（約56度）でマスターホログラムH1に照射する。

一時的に図12Bを参照すると、ホログラムH1は、入射波長の作用として入射光を回折する縞パターンを有している。ホログラムH1は、単色の物体ビーム806と



同一の波長を有する光で

作成されたため、ホログラムH1は同量の物体ビームを回折すると考える。従って、物体ビーム806は、平均角度Kで回折されてからホログラムH1から出射され、フィルムH2のフィルム面840に到達する。参照ビーム852は、たとえばブルースター角（約56度）などのあらゆる適切な角度で基板H2に照射される。

フィルム基板H2は、図3、4、12Aおよび12Bを参照してフィルム319について述べたのと同様に、物体ビーム806と参照ビーム852とによって形成された静止波パターンを記録する。さらに詳しくは、データ集合内の各データスライスに相当する複数の画像が同時にフィルムH2に記録される。各データスライスに対応する振幅および位相情報は、その振幅および位相情報がフィルムH2で限定される面内に存在するように、正確にフィルムH2に記録される。次にコピーホログラムH2を以下に詳述するように再生すると、各データスライスに相当する画像が、その振幅および位相情報を変化させずに、データ集合によって限定される3次元物理的システムを正確に復元する。

続けて図9を参照すると、本発明の発明者は、内部に本発明によってホログラムが形成されるフィルムに含有される乳剤が、現像中にわずかに体積変化を起こし得ることを見いだした。特に、基板を現像するのに伴う特定の化学作用に応じて、乳剤は1%またはそれ以上のオーダーで収縮または拡大し得る。

このような収縮または拡大は、マスターホログラムには比較的小さな影響しか与えないが、この影響はコピーホログラムに関しては大きくなり得る。具体的には、たとえば、10センチのオーダーの一般的なホログラムにおける1%の収縮は、観察者には気づかれないかもしれない。しかし、マスターホログラム(H1)をコピーホログラム(H2)にコピーすると、マスターホログラムH1における1%の変化は、マスターホログラムホルダー834とコピーホログラムホルダー838との距離の1%変化として現れ得るが、この距離は一般にホログラムの実際のサイズよりはかなり大きいものである。実際、マスターフィルムホルダー834とコピーフィルムホルダー838との間隔が14 1/2インチであると、ホログラムH1を有する基

板が1%収縮すると、コピーホログラムが5ミリのオーダーでフィルム面から移動することになり得る。

このような収縮／拡大を補正して、コピーホログラムホルダー838H2が確実にホログラムのフィルム面に対応するようにするために、マスターホログラムホルダー834とコピーホログラムホルダー838との間隔を適切に操作し得る。特に、マスターホログラムH1を含有する乳剤が、たとえば1%収縮するならば、マスターホログラムホルダー834とコピーホログラムホルダー838との間隔を約1%減少させることが適切であり得る。同様に、現像中にマスターホログラムを有する乳剤が拡大する度合いまで、上記の間隔を状況に応じて増大し得る。

さらに、マスターホログラムホルダー834とコピーホログラ

ムホルダー838との間隔は、ホログラム中のあらゆる所望の点でコピーホログラムホルダー838を切断するようにも操作し得る。特に、コピーホログラムがフィルム面にまたがっていることが望ましい場合が多い、つまり、ホログラフィー画像のおよそ半分を観察スクリーンの前に、残り半分をフィルムスクリーンの後ろに投射しようとする場合が多いが、マスターホログラムホルダーとコピーホログラムホルダーとの間隔を操作することによって、ホログラムのあらゆる所望の部分を、所望通りにフィルム面の前または後ろに位置させることができる。

本明細書に記載する好ましい実施態様においては、マスターホログラムH1はカメラ装置300で作成され、コピーホログラムH2はコピー装置900で作成される。本発明の別の実施態様では、これら2つのシステムを所望により都合よく組み合わせ得る。たとえば、図3のフィルムホルダー318を、図9のフィルムホルダー834と置き換え、次のH2フィルムホルダーを、物体ビームがフィルムホルダー834を通して新たなH2フィルムホルダーに透過されるように配置することができる。このようにして、フィルムホルダーH1とH2との関係（図9）を、ハイブリッドシステムに実質的に再生し得る。装置を完成させるには、もう1つの参照ビームを新たなH2フィルムホルダーにブルースター角で照射するように配置する。上記のように改変すると、システムは同一の装備によってマスターホログラムとコピーとを効果的に作成し得る。さらに詳しくは、マス

ターホログラムを別個のコピー装備を用いずに、上記に図3を参照して述べたようにして作成し、マスターホログラムをそのフィルムホルダーから単に取り外して逆転させて、コピーホログラムを作成するのに用い得る。もちろん、当初の物体ビームは遮断して、新たに加えたフィルムホルダーH2を照射するように配置された新たに加えた参照ビームと置き換える。

本発明のさらに別の実施態様では、マスターホログラムは実質的に上記に述べたように作成し得、コピーホログラムは密着コピーとして知られている方法によって適切に作成し得る。具体的には、マスターホログラム(H1)を適切なフィルムシートに密着して装着し、それに参照ビームを従来のホログラムのコピーを作成する関連で知られている方法で付与し得る。

上記にも述べたように、本発明は、N個のスライスを有するデータ集合について、N個の個別の、比較的弱いホログラムを1つのフィルム基板に記録することを目指すものである。第一の概算として、N個のスライスのそれぞれが、露光の間に消費されるハロゲン化銀粒子の約 $1/N$ を消費(変換)する。

出発点として、フィルム基板内の感光性元素の合計量は、従来の写真の方法により公知の光強度でフィルムを連続して露光し、付与されたエネルギー(強度掛ける時間)の作用としてハロゲン化銀粒子が銀粒子に変換される度合いをグラフ化することによって推測し得る。特に図2Aを参照すると、例

示したフィルムサンプルについての公知のHD曲線が、経時的に所定の強度の光でフィルムを露光した効果として示されている。様々な時間間隔で、フィルムのかぶりの度合い、つまりハロゲン化銀粒子が銀粒子に変換される度合いを、単に公知の強度のビームでフィルムを露光し、そのフィルムを現像し、入射光の作用としてフィルムを透過した光の量を計測することによって測る。一般的なHD曲線は非線形であるが、それでも、その曲線を、本発明の関連で、付与されたエネルギーの作用としてのかぶりの様々なレベルを確認するのに用いることができる。

本発明においては、(一般にフィルム製造者により提供される)特定のフィルムのHD曲線を、平方センチあたりのマイクロジュールで表される光の量を測定

するのに用いるが、この光量は、HD曲線によって定まるフィルムの全かぶり容量の、たとえば10%などの所定のレベルまでフィルムに前もってかぶりを起こす(prefog)の必要である。公知のレベルまでフィルムに前もってかぶりを起こした後、非常に弱い平面格子ホログラムをフィルムに記録し、格子の回折効率を計測する。その後、同じフィルムロットからの別のフィルム片に、たとえば、そのHD曲線に基づく全かぶり容量の20%などの、より高いレベルまでかぶりを起こし、同じ弱いホログラムをかぶりのあるフィルムに重ねる。この弱いホログラムの回折効率を再び計測し、この工程をかぶりのレベルを様々に変えて繰り返す。前もって与えたかぶりは完全に無作為

のものであり、いかなる種類の縞パターンも形成しないため、各かぶりレベルの格子の回折効率は、基本的には前もって与えたかぶりのレベルの機能である。

ここで図2Bを参照すると、特定のフィルムロットについての、かぶりレベル(バイアスエネルギー)の作用としての回折効率が示されている。フィルムがホログラフィー的に飽和するまで、つまり、前もって与えたかぶりのレベルが、次の弱いホログラムの回折効率が所定の最低値となるレベルになるまで、図2の曲線は伸びていくことに留意されたい。図2の曲線の下部の領域は、回折効率が飽和するまでにフィルムに付与された全エネルギーの合計に相当する。本発明の関連においては、このエネルギーは、入射光の強度と露光の合計時間の積に等しい。

特定のフィルムロットについて、図2Bの曲線の下部の領域が、フィルムの多重露光ホログラフィー露光容量に関して、このフィルムを特徴づけるものである。N個のスライスを有するデータ集合については、この曲線の下部の領域は、各データスライスが曲線下部の全エネルギーの $1/N$ を消費し得るように、等量のN個の部分に都合よく分割し得る。特定のスライスのエネルギーが、入射光の強度と露光時間の積に等しいことを考慮すると、さらに、入射光(つまり物体ビーム)の強度が、以下にビーム比決定に関して説明する方法で個々のスライスについて定められることを考慮すると、各スライスについての露光時間を都合よく決定し得る。

本発明のさらに他の局面によると、フィルムの各ロットは図2Bに示すものに相当するデータで都合よく符号化され得る。同様に、最も一般的な35mmフィルムは、たとえば、そのフィルムの露光特性に関するデータなどの、フィルムの特定の情報で符号化される。同じように、図2Bに示した回折効率曲線に関する情報は、たとえばフィルムまたはその包装に表示することによって、本発明で用いられる各ホログラフィーフィルムに都合よく付加され得る。カメラ装置300を制御するのに用いられるコンピュータ（図示せず）は、フィルムに記されたデータを読み込むように都合よく配置され得、その後、このデータを用いて、本明細書に記載の方法によって各データスライスの露光時間を計算し得る。

上に述べたように、フィルム面における参照ビームの物体ビームに対する相対強度はビーム比として知られている。公知のホログラフィー技術は、ビーム比を偏光状態を参照することなく定める傾向にある。しかし、特に本発明のいくつかの局面に関連しては、この言葉の別の定義に、特定の共通偏光状態、つまり共通のP偏光状態、または共通のS偏光状態における、（フィルム面での）参照ビームと物体ビームとの相対強度を含める。さらに、あるいは、ビーム比を決定するために、たとえば、モード検出器を用いてビームのモードをモニターすることによって、またはビームの均一性、つまりビームの断面における振幅をモニターすることによって、ビームの他の所望の特性または特質の点で、ビーム強度を定め得る。

ビームの強度は、フォトダイオードを用いることによってフィルム表面で適切に検出され得る。本発明のある局面によれば、1つ以上のフォトダイオードを、例えばフィルムホルダ319の一部としてカメラシステム300を有するハードウェア内の好都合な場所に適切に埋め込んでもよい。この点に関して、このようなフォトダイオードは、透明フィルムの裏側で（フィルムのそばの）フィルムホルダの周辺あるいはフィルムホルダ自体の内部に埋め込まれてもよい。あるいは、所望であれば、選択的にビーム経路に挿入し取り外され得る腕部あるいは同様のレバー機構上に、1つ以上のフォトダイオードを適切に配置してもよい。

本発明におけるビーム比率の役割を理解するために、ホログラフィを、選択さ

れた物体の3次元イメージを示すことを意図される表示ホログラフィと、例えば、レンズ、ミラー、プリズムなどのように定められた性質を持つ光学素子のように機能した後、基本的なホログラフィ縞パターンがフィルム上に記録されるホログラフィ光学素子（HOE）とに、ホログラムを好都合に分割し得ることに注目することが役立つ。

HOEは、乳剤内の散乱光および反射光によっても形成される弱い2次縞を支配する傾向にある、単純な繰り返しの縞パターンになる単純な指向性ビームにより形成される。1次近似に対して2次縞パターンは典型的に無視される。従来のホログラフィ理論には、2つのビームの間の最も強い干渉を

実現するためには、単一ビーム比率を用いなければならないことが記述されている。

一方、表示ホログラフィにおいては、参照ビームがまだ単一指向性ビームであるのに、物体ビームはその物体によって生じる様々な強度および方向を有する、非常に複雑なものになり得る。さらに、典型的に、物体は、非常に高い強度で光を拡散するいかなる数の明るい点をも示す。得られた縞パターンは、記録された物体に対して単純な関係を有さない、非常に複雑なものである。さらに、物体上のブライトスポット（ハイライト）は2次参照ビームとしてふるまい、参照ビームと互いに干渉し合うと望ましくない縞パターンを生成し、その結果、1次縞パターンの相対的強度を効果的に低減する多数の組のノイズ縞が生じる。生成した「相互変調」ノイズ（自己参照ノイズとも称される）は、抑制されない限り、許容できないほどの画質の損失を生じる。

従来のホログラフィ理論には、3～30までの範囲、最も典型的には5～8までの間でビーム比率を選択することによって、参照ビームの相対的強度を増加させることによって物体ビームに対する相互変調ノイズが抑制され得ることが記載されている。これによって、強い1次縞が得られ、大幅に低減された2次縞（相互変調ノイズ）が得られる。従って、現存のホログラフィ技術において、表示ホログラフィの背景において、単一比率よりも高い、好ましくは5～8：1であるビーム比率によって相互変調ノイズが実質的に低減されるこ

とが示唆される。

ホログラムの回折効率、すなわち、観察者に対してどの程度ホログラムが明るく見えるかは、ビーム比率が1のときに、最大値を示す。ビーム比率が1よりも高いときは、回折効率が低下し、その結果、再生されたときにホログラムは暗くなる。しかし、現存するホログラフィ理論における従来の知識には、ビーム比率が増加するに従って相互変調ノイズの低下は回折効率の低下よりも早くなるので、正当な回折効率を示すホログラムを生成すると同時に、5～8：1の間のビーム比率によって相互変調ノイズが低減される（すなわち、高い信号対雑音比を生じる）ことが記述されている。

本発明の背景において、非常に低い参照ビーム対物体ビーム比率、例えば、3：1のオーダーおよび特に単一のオーダーのビーム比率を用いることが望ましく、それにより特定のデータセットにおけるすべてのデータスライスと関連づけられている各ホログラムに対する最適（例えば、最大）回折効率を得られる。しかし、本発明の背景において、従来の表示ホログラフィと比較して、相互変調ノイズ（理論上は、単一ビーム比率において最大）は重大な問題を引き起こさない。より詳細には、従来のホログラフィにおける相互変調ノイズは、とりわけ、物体と関連づけられた明るい点によって生じることを想起されたい。本発明において、「物体」は、2次元の、ウィンドウ化されガンマ補正された（以下で記述する）データスライスに対応する。従って、本発明の背景で用いら

れているデータの性質そのものによって本質的に低い相互変調ノイズが得られ、それによって、単一のビーム比率を用いることが可能になり、最大回折効率および非常に高い信号対雑音比画像が得られ得る。

さらに、データの組内の各スライスに対しておおよそ単一あるいは単一であるビーム比率は、本発明の好ましい実施態様の背景において敏速にかつ効率的に選択され得る。

より詳細には、可変波板404は、物体ビームを分流させながらフィルム319近隣の参照ビームの経路にフォトダイオードを配置することによって、あるいはその逆を行うことによって校正され得る。波板404へ印可される電圧を所定

の増分でゼロから最大値まで上昇させると、参照ビームの強度は入力電圧の関数として定義されてもよい。物体ビームの（データスライスが物体ビームに組み込まれる前の）強度を加えた参照ビームの強度は、これらの共通ソースビームにおおよそ等しく、この共通ソースビームの強度は容易に確かめ得るので、波板404に印可される電圧の関数としての純粋な物体ビーム強度も好都合に導かれ得る。特定のスライスに対する単一のビーム比率に達するように波板404への適した入力電圧を決定することが残っている。

基本的なレベルにおいては、各データスライスは、公知の数の「画素」（イメージング装置328を通過した後にはそのようには表記されない）を有し、各画素は公知の中間調値を有している。従って、各データスライスには、例えば、純

粋な白の比率として輝度値が割り当てられる。従って、公知の輝度値を有する特定のデータスライスに対する単一ビーム比率を得ることを要求する特定の電圧レベルは、輝度値によって乗算されたときに、同一の電圧レベルに対する参照ビーム強度値と等しくなる、純粋な物体ビーム強度値に対応する唯一の電圧値を選択することによって好都合に決定され得る。この計算は、本明細書に記載されている関係式に従いプログラムされた、従来のコンピュータによって迅速にかつ有効に行われ得る。

従って、各データスライスは、単一ビーム比率を実現するために必要である波板404への入力電圧に対応する電圧値と関連づけられている。

本発明の別の局面によれば、データセットを有する各データスライスは、上記されたウィンドウ化手順に引き続きさらに準備されてもよい。特に、イメージング装置328は、CRT444に印可されるデータ値に従って様々な輝度レベル（中間調）を有する画像を生成する。しかし、従来のCRTおよび従来の光値は、画像を駆動するデータに線形的に対応する輝度レベルを有する画像を必ずしも投影しない。さらに、中間調の人間の知覚は、必ずしも線形である必要はない。例えば、任意の輝度値100を有する画像は、輝度値50を有する画像より2倍明るく見えるが、輝度値100を有する画像よりも2倍明るく見せようとする、輝度レベル200が必要となり得る。



人間の視覚システムは、輝度を指数関数として一般的に知覚し、CRTおよび光値は画像を駆動するデータのレベルに線形的にも指数的にも関連しない輝度を有する画像を生成するので、データスライスがウィンドウ化された後、すなわち、輝度およびコントラストの総レベルで調整された後、データスライスにガンマ補正を行うことが望ましい。ウィンドウ化されたデータにガンマ補正を行うことによって、実際に観察されている中間調は、知覚的差異という観点から平等に配分されなければならない。

本発明の好ましい実施態様によれば、ガンマ参照用テーブルは、イメージング装置328にともなう一連の所定の中間調値を表示することによって生成される。フォトダイオード（図示せず）は、イメージング装置328の出力経路内に適切に配置され、公知のデータ値に対応する実際の輝度値を測定する。そして、一連の測定は、様々な中間調データ値に対応するそれぞれ異なる輝度レベルに対して行われ、ガンマ参照用テーブルは特定のデータセットによって示される中間調の範囲に対して構成される。所望の精度の程度に従って、いかなる数の中間調がフォトダイオードによって測定されてもよく、光学的に測定されないグレイ値に対する輝度レベルの補間計算機を考慮してもよい。

ガンマ参照用テーブルを用いることによって、参照用テーブルが生成されている間にフォトダイオードによって測定されるように、データ内の等しい値の輝度ステップが投影され

た画像において視覚的に等価な変化に対応するように、各データスライスに対応するデータが翻訳される。

さらに、図7～8の背景で記載されるように、波板463と関連して用いられるとき、光バルブ442は、最も明るく白い画像よりも約2000倍弱いオーダーで、最もく黒い画像を生成することが典型的に可能である。人間の視覚システムは、一つのデータスライス内の50～100の中間調内のみで区別が可能である事実を考慮すると、コントラスト範囲のこのレベルは全く不必要である。従って、最大の所望のコントラスト比（すなわち、スライス上の最も明るく白い領域の輝度レベルによって分割されたスライス上の最も黒い領域の輝度レベル）は、

100～200：1であることが望ましく、それによって輝度スケールの両端がフレキシブルになる。従って、特定のスライスのコントラスト比は、光バルブによって生成され得る、利用し得るコントラスト比の10分の1のオーダーであるので、本発明の背景において用いられるガンマ補正体系の別の局面は、ゼロと等しい輝度レベルを有するものとして純粋な黒を定義することを包含する。その後、いずれのスライド上の興味あるにもおける目的の最も暗い領域、すなわち、放射医学者がスライス上で観察することに興味を持っている最も暗い領域は、「ほぼ黒」と称される。このほぼ黒い領域は、純粋な白よりも100～200倍弱いオーダの値までマップされる。さらに、ほぼ黒の領域の値未満のいかなる値も純粋な（絶対的）黒（ゼログレイ値）に固定

することが望ましい。これらの純粋な黒領域、言い換えればスーパーブラック領域は、目的の最も暗い領域よりも暗いスライスの領域をすべて有している。

本発明で用いられている付加的なガンマ補正工程は、最も明るい値を固定することを包含している。従来のCRTおよび光値は輝度範囲の頂点においてはしばしば不安定になることを当業者は理解するであろう。より詳細には、90%を超える輝度レベルのいずれかの特定のCRT／光バルブの組み合わせにおいて画像を駆動するデータの輝度レベルを上げることによって、全く予測が不可能な輝度レベルを有する画像を生成するかもしれない。従って、データセットについて輝度レベルの上限を限定し、それをイメージング装置328によって示される所定の輝度レベルと一致するデータセットに対する輝度レベルの上限、例えば、イメージング装置328によって生成される最高輝度の90%で定義することが望ましい。従って、様々なデータスライスにおいて反射されるような純粋な白は、実際はイメージング装置が理論上生成し得るものよりも10%白くないものに対応し、それによって、光学装置と関連づけられた非線形性および他の不安定な性質が回避される。

最後に、いずれかのスライスが本質的に黒かったり、無関係なデータのみを含む場合、所望であれば、スライスを完全に最終ホログラムから除いてもよい。

従って、本発明のある局面によれば、物体ビームの強度は、

とりわけ、波板404に印可される電圧レベル、特定のデータスライスについてのデータ分布、フィルムホルダに関するデータスライスの軸位置、およびデータに行われるガンマ補正の影響を含む多数の要素のうちの1つ以上の関数として適切に制御され得る。

### ビューイング装置

コピーホログラムH2は、カルフォルニアのLaguna HillsのVOXEL, Inc.によって製造されたVOXBOX装置などのビューイング装置上で適切に再生される。VOXBOXビューイング装置のいくつかの特徴が、1986年11月18日に発行された米国特許第4,623,214号および4,623,215号に記載されている。

次に、図11を参照すると、ビューイング装置1102は、ハウジング1104およびその中に配置された内部キャビティ1106を適切にしており、ハウジング1104は、ビューイング装置に環境光および室内光が入るのを防ぐように構成されている。

ビューイング装置1102は、例えば、球面照射白色光源などの光源1108、バッフル1132、ミラー1134、フレネルレンズ1110、回折格子1112およびベネチャンブラインド1114を有し、ベネチャンブラインドの上にはコピーホログラムH2が好都合に実装されている。ベネチャンブラインド1114およびホログラムH2は、簡潔にす

るために、回折格子1112から空間に分離されているように模式的に示されている。装置の好ましい実施態様において、フレネルレンズ1110はハウジング1104の前表面を適切に形成し、回折格子1112はレンズ1110の表面に固定された薄い平面シートを形成し、ベネチャンブラインド1114は回折格子1112に固定された薄い平面シートを形成する。例えば、適当なクリップ、真空機構、あるいは何らかの好都合な方法などの何らかの好都合な機構によって、ホログラムH2をベネチャンブラインド1114の表面に近接しているが取り外し可能なように取り付けられる。

フレネルレンズ1110は、光源1108によって生成された光を平行にし、回折格子1112を介して平行光を方向付ける。所望の光源1108とレンズの

間の焦点距離は、とりわけ、レンズ1110の物理的寸法によって決定される。空間を保持し、それによってコンパクトなビューイングボックス1102を生成するためには、光源1108からの光がミラー1134によってその光の経路にそって適切に重畳されなければならない。空間利用を最大限にするために光源1108はレンズ近傍に配置され得るので、ミラー1134によって折れた光のみがレンズ1110に当たるように、バッフル1132が光源1108とレンズ1110との間に好都合に配置され得る。上記のように、この角度と波長との間の関係は、方程式 $\lambda = K \sin \theta$ によって同様に決定される。本発明の好ましい実施態様において、レンズ1110の焦点

距離はおおよそ12インチである。

回折格子1112は、例えば、本明細書に記載されているものと同様のホログラフィ工程によって製造される、ホログラフィ光学素子(HOE)を適切に有している。より詳細には、参照ビームならびにホログラムH2(ここでは514.5nm)を製造するときに用いられる物体ビームに対応する波長および入射角を有する物体ビームを用いて、回折格子1112が適切に製造される。好ましい実施態様において、回折格子1112は位相ホログラムであることが有利である。

回折格子1112は、光源1108から回折格子上に照射される白色光の様々な成分を波長の関数として適切に回折する。より詳細には、光が回折格子1112を通過すると、光の各波長は独自の角度によって屈曲させられる。例えば、白色光の青色成分は角度Pによって屈曲し、より高度の波長である緑色成分はより大きい角度Qで屈曲し、より高度の波長である赤色光は角度Rで屈曲する。言い換えると、回折格子1112は、格子の表面に対して独自の角度で各波長を平行にする。しかし、回折格子1112は不完全なディフラクタであり、従って、入射光の一部のみが回折され(例えば、50%)、未回折光の残りの部分は平行な白色光として通過することを当業者は理解するであろう。

ベネチャンブラインド(ルーバ)1114は、回折格子1112を通過する未回折白色光を効果的に捕らえる、一連の非常に薄く傾斜した光学スラットを有している。従って、ル

ルーバ1114を通過する実質的にすべての光は、例えば、光が回折格子1112によって回折される角度に傾斜して通過する。もちろん、光のうちにはルーバ1114によって回折されないものも若干あり、その光は様々なランダムな角度で通過する。さらに、ルーバ1114を有するスラットの幾何学的構成は、最適なカラリゼーションを有するホログラムを生成するように選択され得る。より詳細には、一定の波長は本質的に損傷されずにルーバ1114を通過する（公称波長帯）が公称波長帯よりも高いあるいは低い波長はルーバ1114によってとらえられるように、スラットの幾何学的構成を選択し得る。さらに、回折格子1112を通過する未回折光がルーバ1114を直接には通過しないように、スラットの幾何学的構成を選択し得る。スラットの幾何学的構成を調整することにより、例えば、そのような未回折光をホログラムH2に到達する前に隣接するスラットの間を多数回（例えば、4回）反射させることによって、未回折光を実質的に減衰させ得る。

ルーバ1114は、3M Companyによって製造された薄い平面光制御フィルムを適切に有する。一方の表面上ではルーバ1114はわずかに凸状になっており、さらにこの表面には製造者によってグリース性物質あるいはろう性物質が明かに塗布されている。傷つきやすいスラットへの損傷を避けるために、例えばアクリルシート（図示せず）などの保護表面にルーバ1114を付着させることが望ましい。しかし、ル

ルーバ1114の「グリースを塗布した」側面をアクリルシートに不適切に付着させると、2つの表面の間で不均等な接触界面が生じ、それによって望ましくない光学特性が生成され得る。

この界面において高潤滑性を有する粒子状物質（例えば、タルク）の薄い皮フィルムを塗布すると、アクリルシートとルーバ1114の間の改善された光学特性を有する接触面が生成される傾向があることを本発明は決定した。

図示されるように、ルーバ1114の表面にビューイングスクリーンを付着させることによって、ホログラムH2をビューイングスクリーン上に配置する。この点に関して、ビューイングスクリーンは、レンズ1110、回折格子1112

およびベネチャンブラインド1114の構成部材のうちの1つ以上を適切に有する。あるいは、ビューイングスクリーンは、上に上記の構成部材のうちの1つ以上が好都合に実装され得る、例えばガラスなどの透明物質の薄い平面フィルムを有するだけでもよい。本発明のある局面によれば、そのようなビューイングスクリーンは、適切に、幅が10～16インチのオーダーで、高さが14～20インチ、最も好ましくは14～17インチのオーダーである。従って、本発明に従って製造された様々なホログラム、すなわち、マスターホログラムH1およびコピーホログラムH2は、ビューイングスクリーンよりも小さいか、あるいはほぼ同じ大きさを有するように、適切な寸法を有することが望ましい。特に好ましい実

施態様においては、マスターホログラムH1およびコピーホログラムH2は、適切に、それぞれ幅14インチ、長さ17インチである。

回折格子1112を製造するために用いられたものと同一の波長および参照ビーム角度を用いてホログラムが適切に製造されるので、ホログラムH2を通過する光は、その波長に従って屈曲される。詳細には、青色光はマイナスP度で、緑色光はマイナスQ度で、赤色光はマイナスR度で屈曲される（マスターホログラムH1は、コピーホログラムH2を製造している間に反転されることを思い起こされたい）。従って、すべての波長は、レンズ1110の平面に対して実質的に垂直にホログラムを通過する。その結果、観察者1116は、ホログラムH2の平面に対して垂直である線に実質的に沿った視点から再構成されたホログラムを見ることができる。

回折格子1112の波長選択回折容量をホログラムH2の波長選択回折特性と調整することによって、回折格子1112によって回折された実質的に全ての光がホログラムを照明するために用いられ得る。従って、比較的非能率的な回折格子1112を用いても、比較的に明るいホログラムの画像が生成される。さらに、かなりの量のこのスプリアス白色光はルーバ1114によって遮断されるので、ホログラフィ画像は、回折格子1112によって回折されないスプリアス白色光によって無駄に散乱されない。

さらに、薄い平面ホログラム、ルーバ1114および回折

格子をビューイング装置の一部を形成するレンズの表面に実装することによって、ホログラムを照明する再生ビームは、光源1108からの平行光に実質的に排他的に限定される。すなわち、スプリアス非平行光がホログラムH2の裏面(図11の右手側)に照射することを防止する。

本発明に従って製造されたホログラム(H2)が箱1102上に実装されると、フルパララックスおよびすべての視点からの遠近感(パースペクティブ)が観察者に提供され、物体の3次元表示が見られ得る。ホログラムがビューボックスから取り外され、反転され、再びビューボックスに戻されてもよいことを、本発明の発明者はさらに決定した。反転されたホログラムは、観察者が反対方向からホログラムを見ていること、すなわち、観察者から最も離れていたホログラム上の点は今度は観察者に最も近くなり、またその逆になることを除いては、同一のホログラムの非反転ビューとして、すべての同一のデータを含む。外科医がある方向から他の方向に身体上で手術の様々なプロスおよびコンスにアクセスすることができるようにすることにより提案された外科の手順を計画したときに、この特徴は外科医に対して特に有用になり得る。

単に1つのホログラムをもう一つのホログラムの上部に配置することによって、2つ以上のホログラムが同一のビューボックス上で同時に見られ得ることも本発明の発明者が決定した。例えば、第1のホログラムが取り替えられるべき身体

(例えば、臀部)を有し、第2のホログラムが補綴代替装置を有する状況では、これは特に重要になり得る。従って、外科医は、適切な背景において、すなわち、患者の内部の3次元空間に装置が設置されたときに、提案された装置を見ることが出来る。

さらに、例えば、3次元調整グリッドなどの調整グリッドを調査の対象であるホログラムで覆うことが有利になり得る。この背景に置いて、適切な調整グリッドは、その上で符号化された空間表示を有する1つ以上の規則あるいは他の測定器のホログラムをただ単に有するだけでもよい。あるいは、調整グリッドは、例えば、線形的方法、対数的方式などの他の好都合な方法で間を置いた、一連の交差する線、もしくはドット行列あるいはほかの視覚的マーキングの行列を単に有

するだけでもよい。このように、特に、調整グリッドが同じスケールであるか、ホログラムを有する寸法のスケールの好都合な倍数である場合、調整マーキングを合計することによって3次元的距離が容易に計算され得る。

本発明に従ってホログラムを見たときに非常に弱い光のパターンおよび暗い環が時折目に見えることも、本発明の発明者が観察している。より詳細には、見られるたときに、これらの環はホログラムの後ろに非常に離れて見える。本発明の発明者は、これらの環が各データスライスと共に拡散する拡散体472のホログラムを取り込むことに起因する、インターフェログラムを構成することを理論化した。この問題を克

服するために、各データスライスが記録されると、拡散体472はその平面内でわずかに（例えば、10ミリメートル）移動してもよい。このように、本明細書に記載されているように、各データスライスに対応する画像はフィルム319上に投影されているが、拡散体472のわずかに異なる部分が各データスライスに対して投影され、それによって各データスライスに対して拡散体472に起因すると考えられる同一パターンを投影することが防止される。

例えば、1つ以上のデータスライスに本文材料あるいは図式材料を付加することも可能であり、それにより、データセットの得られたホログラムがこの本文材料あるいは図式材料を反映し得る。このような材料は、識別データ（例えば、患者の名前、記録されている物体のモデルあるいは整理番号）を有しても、あるいは、純粋な図式情報（矢印、記号など）を有してもよい。

この点において、正スコピックビューで見られるテキストは、同一ホログラムの疑似スコピックビューにおいて反転されることに気づくことは興味深い。すなわち、正スコピックビューにおいてテキストが右側を上にして見える場合、疑似スコピックビューにおいては逆さまに見える。従って、ホログラムにおいてテキストを利用することが望ましい限り、ホログラムが正スコピック構成で見られるか疑似スコピックビュー構成で見られるかにかかわらず、テキストが適切に観察され得るように、同一のテキストをホログラム上部では右側を



上に、ホログラムの底部では上下逆に挿入することが有利になり得る。

さらに、再生の間にはフィルム平面内のテキストは一般的に明確であるが、フィルム平面の外、すなわち、図1における軸Aに沿って配置されたテキストは一般的により明確でなくなる。「フィルム平面外部の」テキストはV o x b o x上で見られると判読可能であるが、V o x b o xがなければ判読できないので、これは本発明のある側面によると有利である。医学的診断に用いられるホログラムの背景においては、例えば、患者の名前、状態などの秘密なある患者の情報がV o x b o xの補助により、しかるべき職員が非常に容易にそのような情報を見ることができるよう、フィルム平面外部に配置することが望ましく、それによって患者の秘密性を保証する。

本文材料あるいは図式材料に加えて、例えば、特定のホログラムを有する画像の一部、あるいは、他のホログラムからの画像データなどの付加的なイメージをマスターホログラム上に有することが望ましい。例えば、百個以上のスライスを有する折れた骨のマスターホログラムを考える。キーとなる情報を有する数個のスライスについては、ホログラム全体とは距離を置いているがホログラムに隣接しホログラムに対して適した深さにあるこのデータを個別に表示することが好ましい。

簡潔に上記したように、本発明に従って製造されたホログ

ラムをV o x b o xあるいはほかの適切なビューイング装置上で見るとき、ホログラムが第1の位置にあるときホログラムの正スコピックビューが観測され、ホログラムがその水平軸の周りを回転するとき、疑似スコピックビューが観測される。ホログラフィフィルムの特定の方角が、裸眼による正スコピックビューあるいは疑似スコピックビューに対応するか否かを決定することは困難なので、ホログラフィフィルム上に好都合な表示を配置し、ホログラフィフィルムがビューイング装置上に配置されたときにホログラムのどのビューが観察され得るかを観察者に知らせる。例えば、ノッチあるいはその他の物理的表示をフィルム上、例えば、正スコピックビューの右上の角に配置することが望ましい。あるいは、適切な表示を、辺に沿って角に、もしくは、ホログラフィフィルムあるいはホログラ

フィイルムのためのいかなる境界、縁あるいはパッケージ上の好ましい位置のいずれかに配置することによって、小さなテキスト、図式および色のコード化体系が用いられ得る。

本発明の別の局面によれば、データスライスの一部のみをウィンドウ化し、かつ、満足のいくコントラストおよび陰影を実現することが効果的になり得る。たとえば、100個のスライスデータセットに対しては、例えば、10個おきにデータスライスを手動でウィンドウ化し、また、コンピュータによる内挿技術を用いることによって、割り込みデータスライスを自動的にウィンドウ化することが可能である

本発明のさらに別の局面によれば、データセットを含む様々なデータスライス平面からフィルム平面を選択することが可能である。より詳細には、データセット内の各データスライスは、それ自体の独自の平面を占める。本発明の好ましい実施態様によれば、データセットの容量内で中央にあるデータスライスが、トラック装置334の移動長さの中心にあるデータスライスに対応するように、トラック装置334は前後に移動する。しかし、所望であれば、フィルム319の平面がデータセットの一端あるいは他端により近くに配置されるように、イメージング装置328とフィルム319との相対的位置を変化させ得る。従って、得られたホログラムH2は、データセットを切断するためにフィルム平面が選択される場所によって、ホログラムが観察されるスクリーン内あるいは外に投影されたホログラフィ画像のより大きい部分あるいはより小さい部分を有するようになる。

本発明のさらに別の局面によれば、複数の異なるホログラムが一枚のシート上に表示され得る。例えば、外科手術前の身体ホログラムはフィルムの上部に表示されている。フィルム下部は2つの4分の1部分に分割されており、その一方は第1のパースペクティブからの手術後の同一の身体ホログラムを含み、他方は別のパースペクティブからの手術後の同一の身体ホログラムを含む。これらのおよび他のホログラフィ構成は、効率的な診断分析を促進するために適切に用いられ得る。

本発明のさらに別の局面によれば、ビーム経路全体を適切に黒い管材および黒い箱の中に納めることが有利である。これによって、望ましくない反射の存在が最小化される。さらに、マスターホログラムおよびコピーホログラムを製造する工程全体は、いかなるフィルム表面とも接触し得るスプリアス光を有さない部屋あるいは他の囲いの中で行うことが有利である。あるいは、本発明の背景においてビームのいずれかによって通過する経路を、他のファイバー光学ケーブルに代えてもよい。ファイバー光学ケーブルを適切に選択することによって、ケーブルを通過する光の極性および横断電磁モード (TEM) が保存される。ファイバー光学ケーブルを用いると、システムが非常に圧縮され、さらに、システムの構成部材 (例えばミラー) の多くが完全に除去され得る。最後に、ファイバー光学ケーブルは、参照ビームと物体ビームとの間の差動経路長を補償するために用いられ得る。特に、ビームの1つが通過する経路が他のものと異なる限り、ファイバー光学ケーブルの所定の長さがより短い距離を通過するビームの経路において用い、それにより長さの差を補償し、従って、2つの経路を等しくし得る。

図10Bに示されている疑似スコピック構成を簡略に再び参照すると、一定の状況下では、自由空間においてマスターホログラムを再生し、3次元画像を見ることが望ましい。例えば、手術を行う前に、特定の身体の部分で外科技術を練習することが、外科医にとって有益になり得る。この点におい

て、例えば、バーモント州、BurlingtonのAscension Technology Corporationによって製造されたBird (TM) 部品No.600102-Aなどの6空間デジタイザは、疑似スコピック構成の背景に置いて有利に用いられ得る。

より詳細には、6空間デジタイザは自由空間において加工され、従来のコンピュータマウスがそのコンピュータに2次元位置データを報告するのと同様に、その位置をコンピュータに報告し得る。ホログラフィ空間を移動することによって、サイズあるいは他の寸法に関するデータがホログラムに対して明白に得られ得る。

さらに図10Bを参照すると、様々な診断上のあるいは実験上の職務を行うためには、ホログラムのフィルム平面外、例えば、自由空間で、ホログラムを部分

的にあるいはその全体を再生することも望ましい。例えば、負傷した臀部などの人間の解剖組織上の構造の一部のホログラフィ表示を投影し、ホログラフィ空間に臀部あるいは他の解剖組織上の要素を置き換えるための補綴装置を物理的に配置することが有利になり得る。このように、補填装置の「取り付け」および装置の配置前に行われたどのような適切な補正も確認される。

さらに、自由空間においてホログラムを再生し、拡散スクリーンもしくは他の透明または不透明構造をホログラフィ空間に配置し、様々な実験上あるいは診断上の目的のためにホログラムの対象物との相互作用を行うことが望ましい。

本発明は、添付の図面と関連して本明細書に記載されたが、

本発明の範囲はこれに限定されないことを当業者は理解するであろう。例えば、ビューボックスは直方体として記載されているが、ビューイング装置の様々な構成部品を好都合に収納するいかなる適切な構造でもよいことを当業者は理解するであろう。さらに、カメラ装置およびコピー装置は分離したシステムとして図示されているが、適切に1つのシステムに組み合わせられてもよい。

添付の請求項に記載されているような本発明の精神から離れることなく、本明細書中に記載された様々な構成部品および工程の選択、設計および配置においてこれらのおよびその他の変更をなし得る。

【図 1 A】

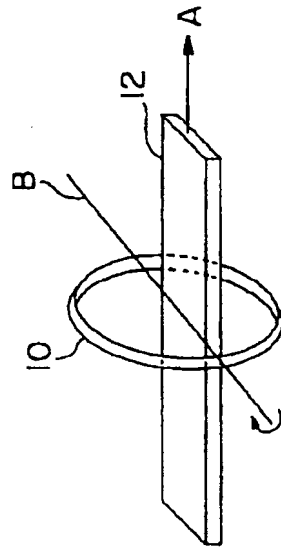


FIG. 1A

【図 1 B】

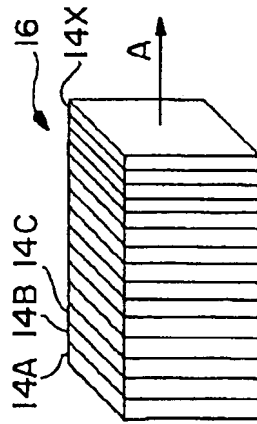


FIG. 1B

【図1 C】

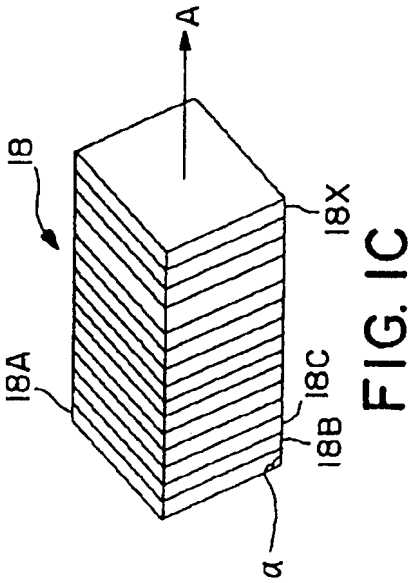


FIG. 1C

【図1 D】

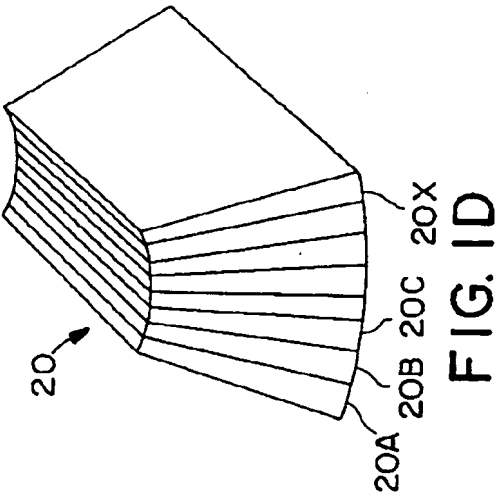
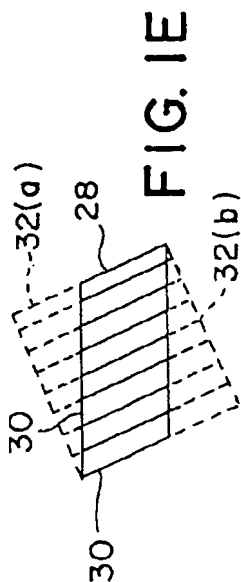
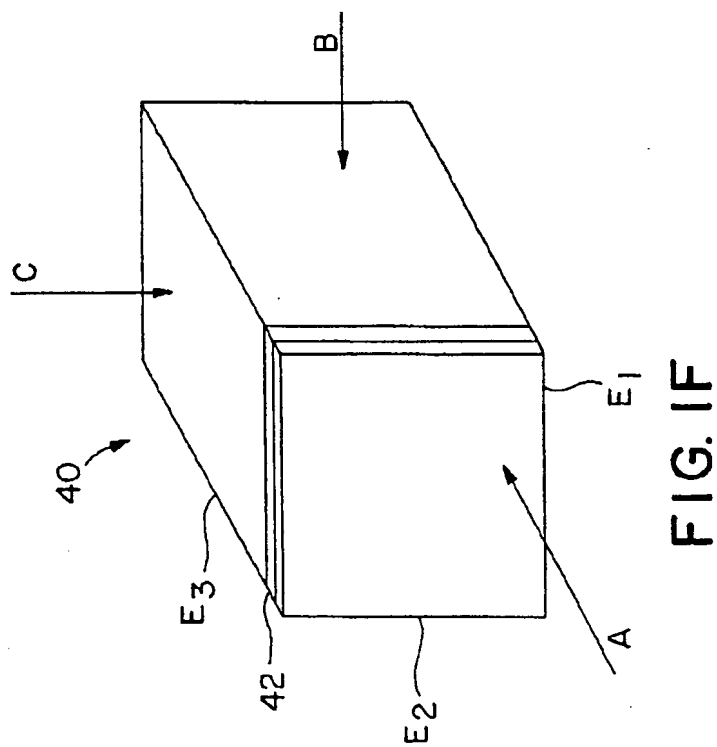


FIG. 1D

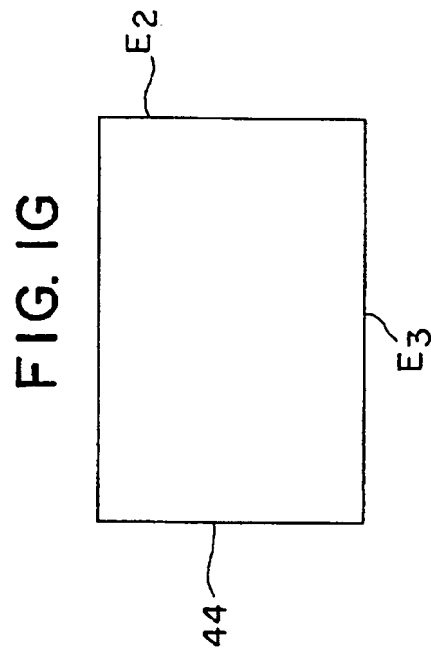
【図1 E】



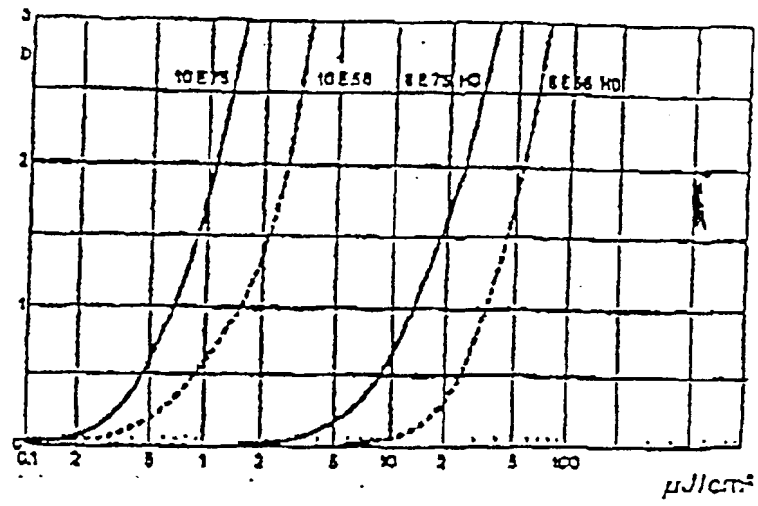
【図1 F】



【図1G】



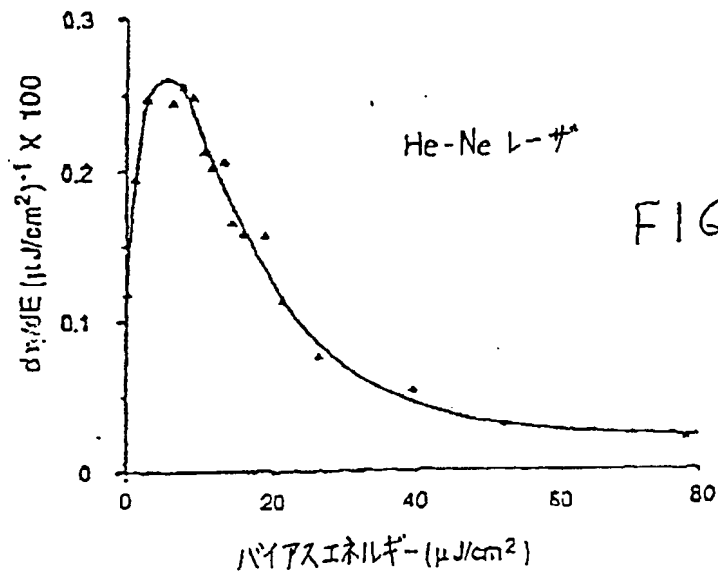
【図2A】



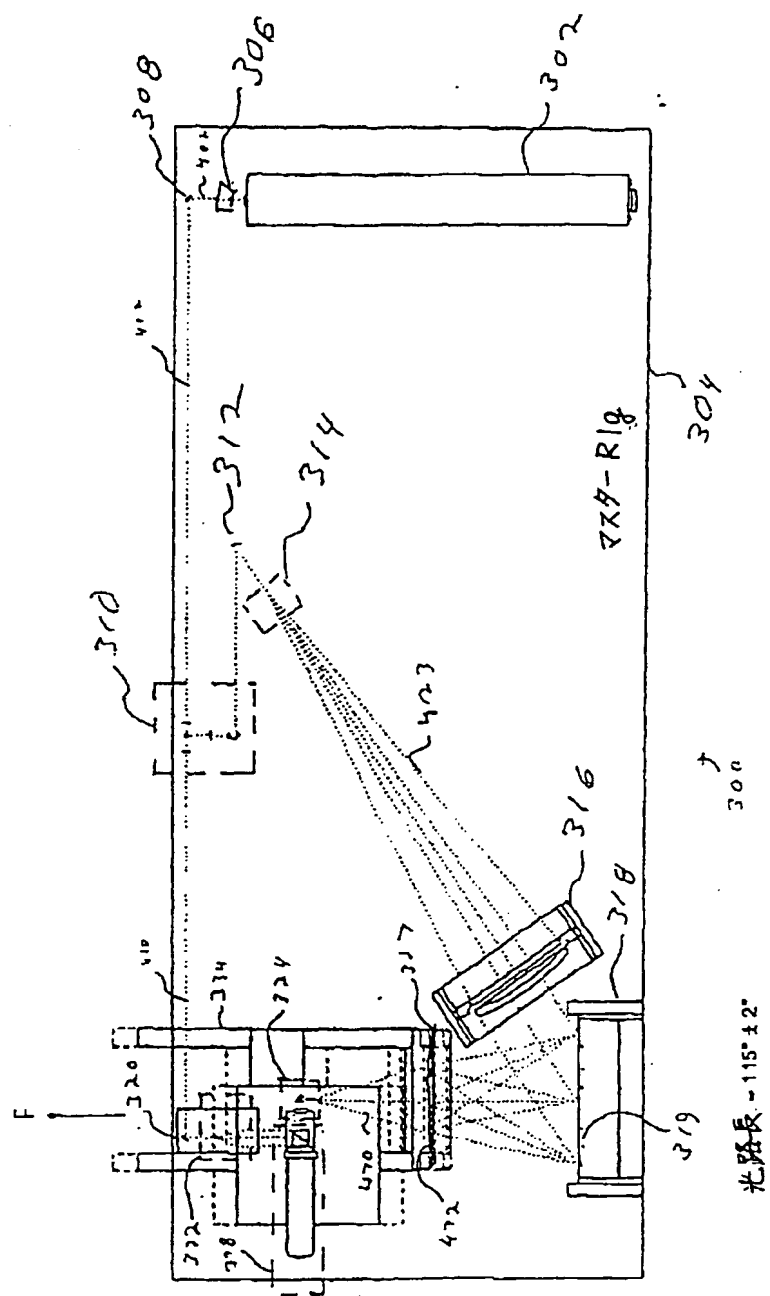
F16 2A



【図2B】

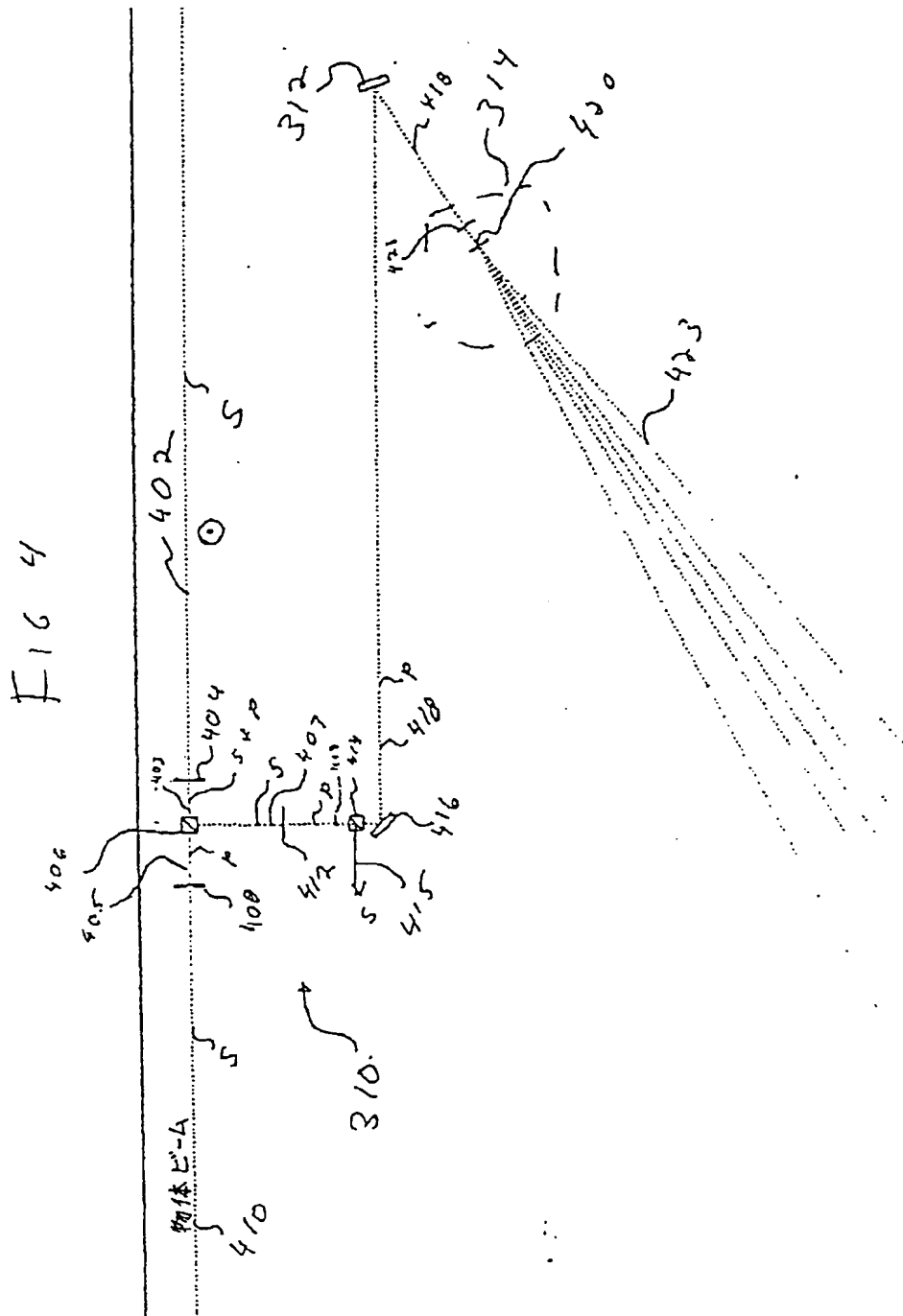


【図 3】

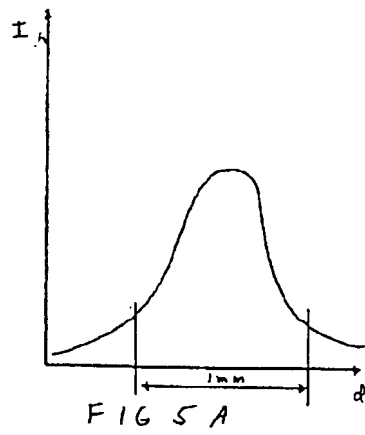


光路長.  $-115^{\circ} \pm 2^{\circ}$

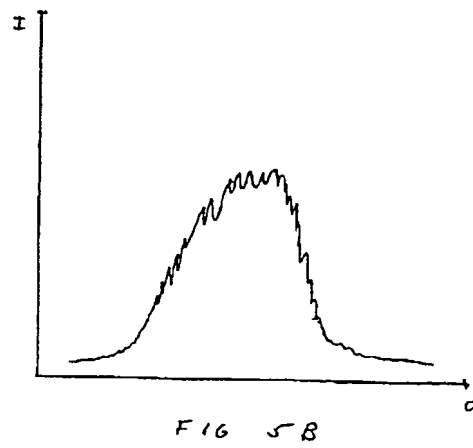
【図4】



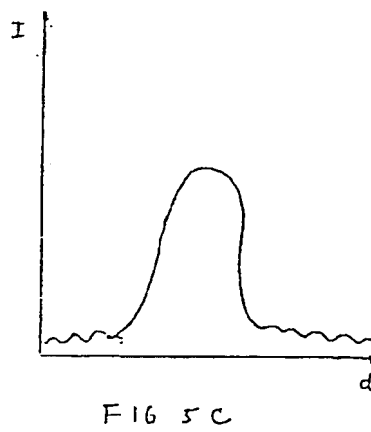
【图5 A】



【图5 B】



【图5 C】



【図5D】

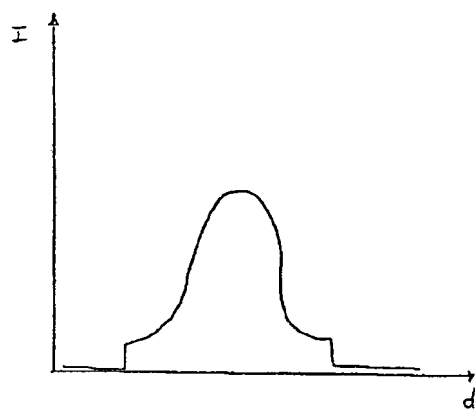
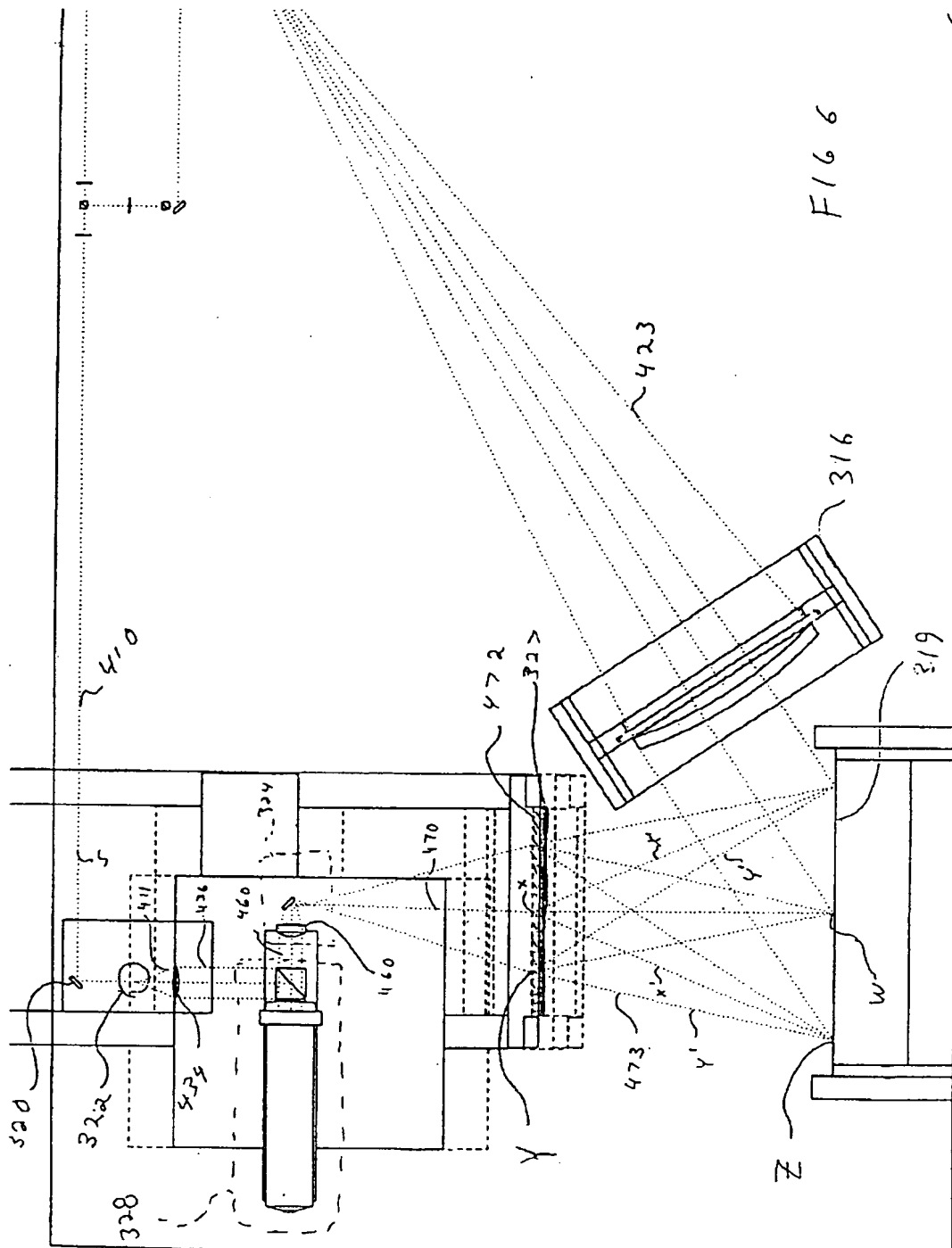
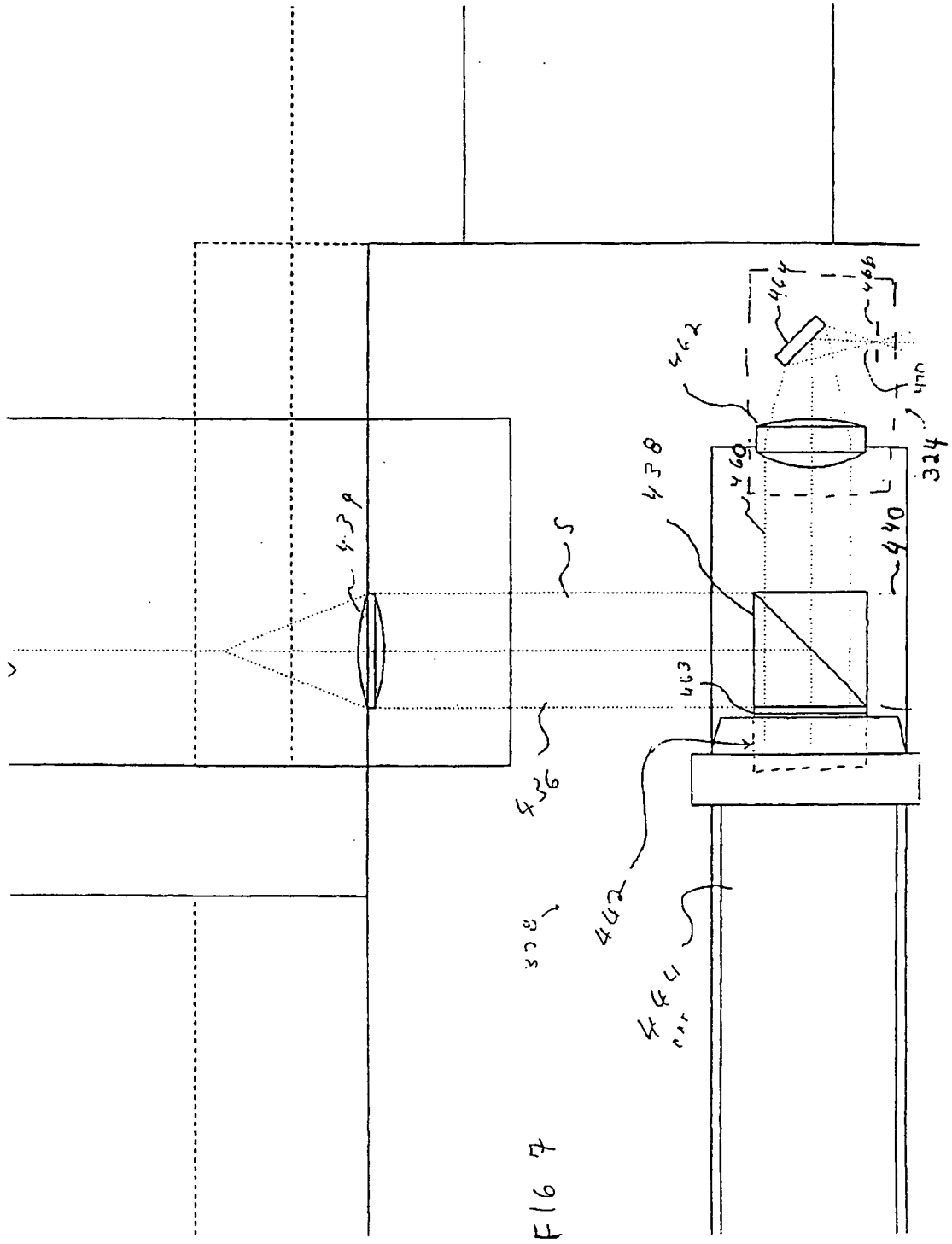


FIG 5D

【図6】



【図7】



【図8】

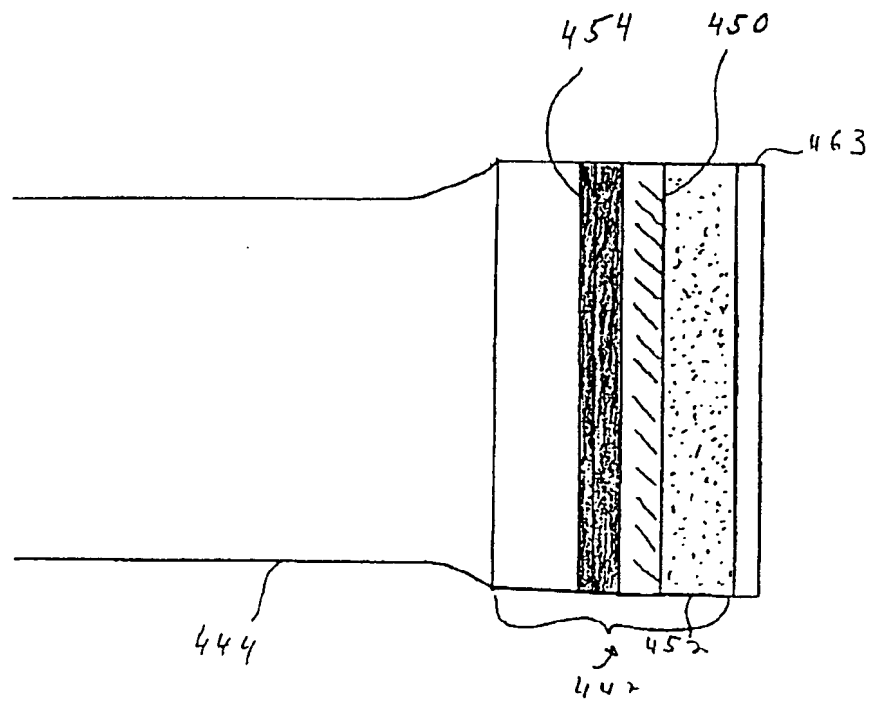
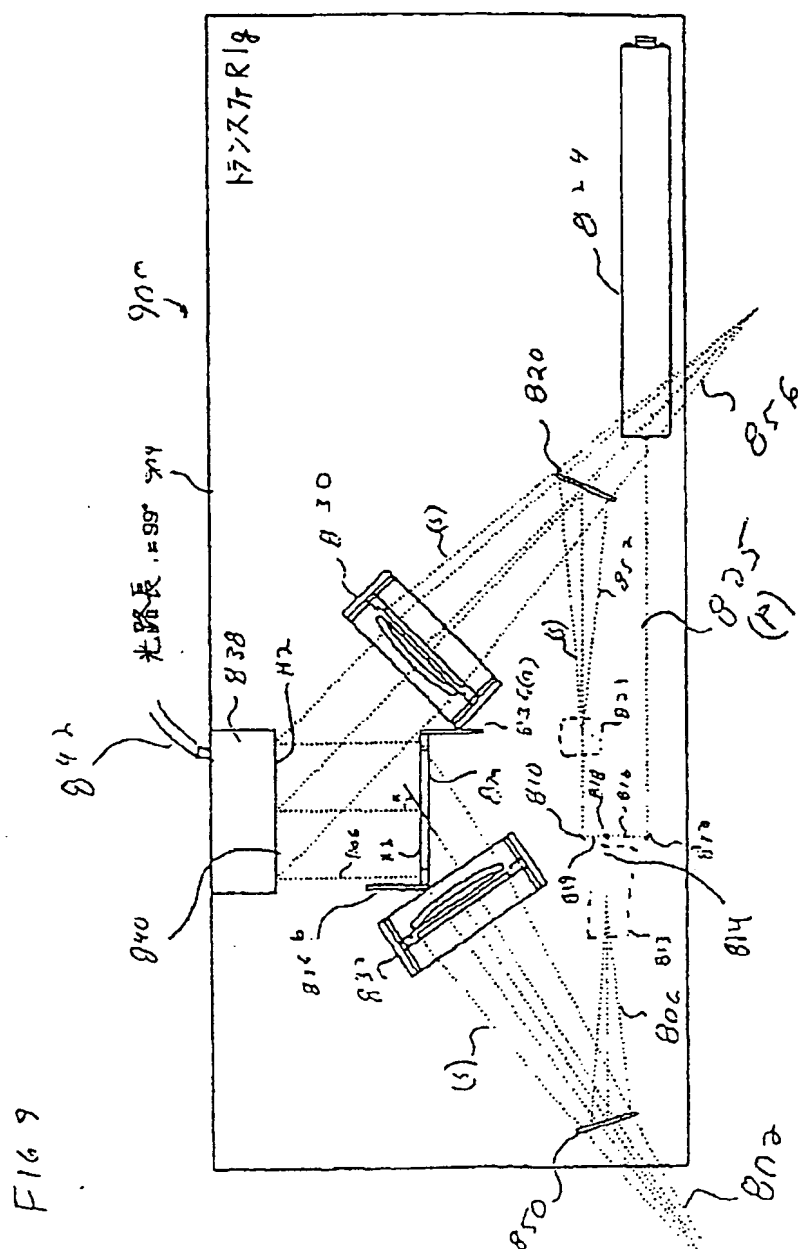


FIG 8



【図 9】



【図10A】

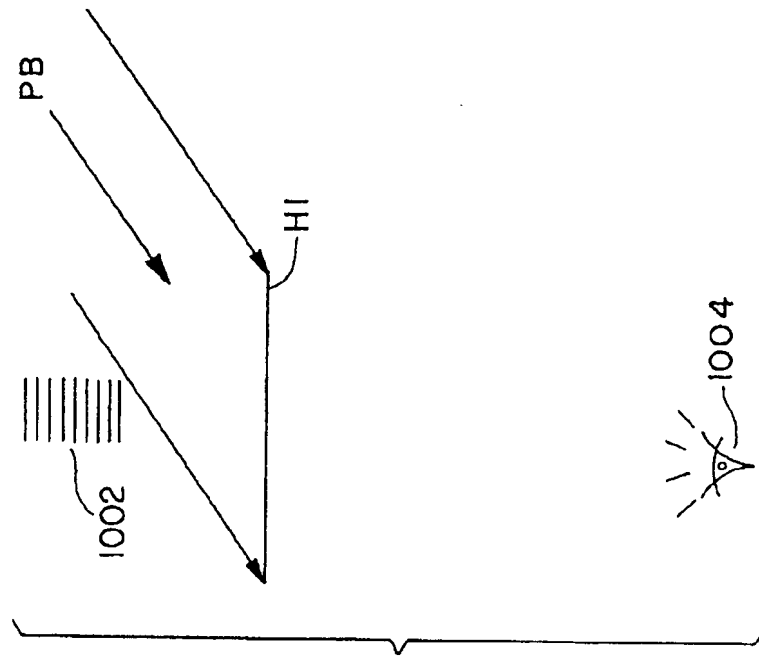


FIG. 10A

【図10B】

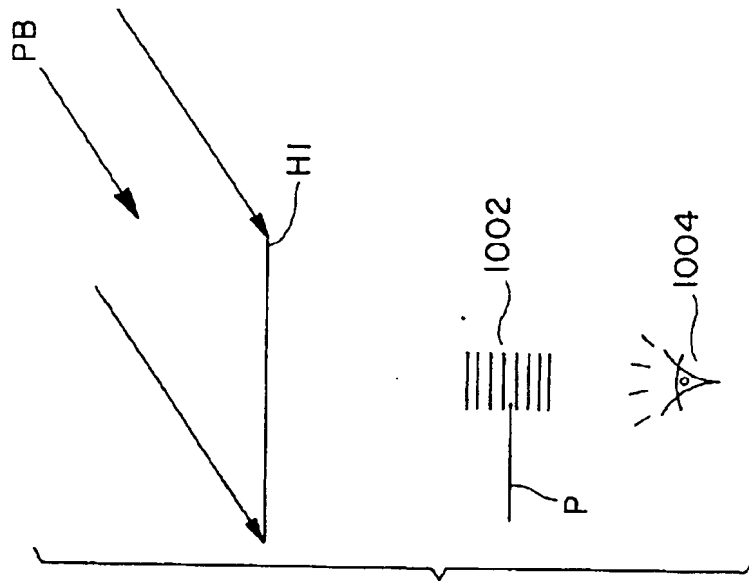


FIG. 10B

【図11】

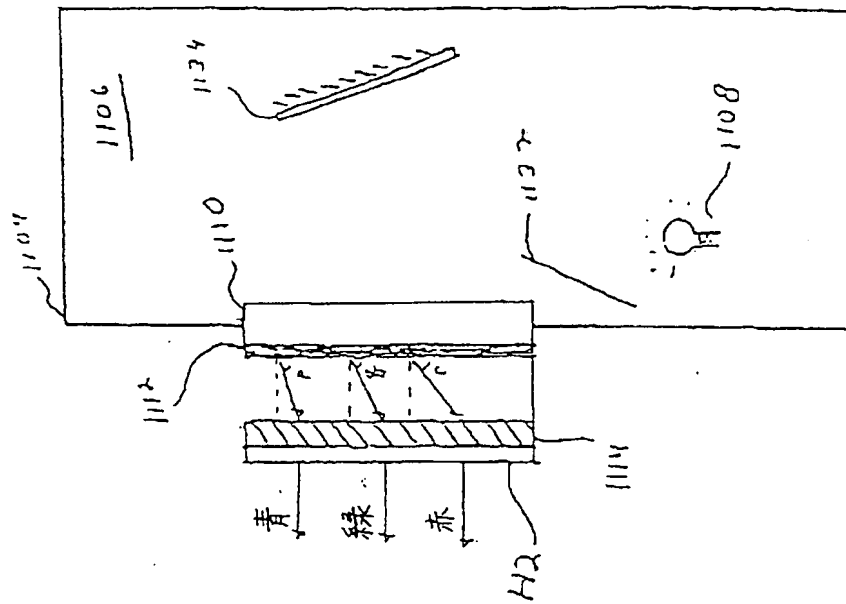


FIG. 11

FIG. 11

【図12A】

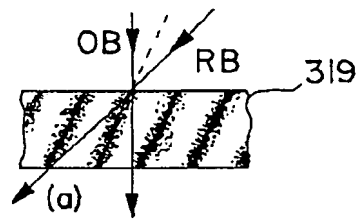


FIG. 12A

【図12B】

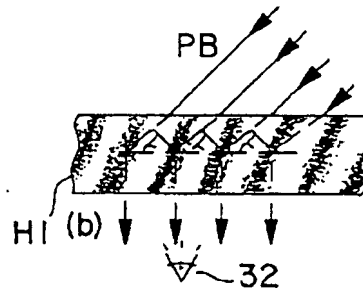


FIG. 12B

【図12C】

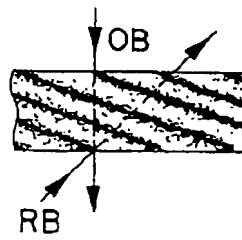


FIG. 12C

【図12D】

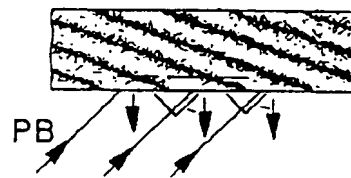


FIG. 12D

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US93/11501

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(S) : G 03 H 1/26, 1/28

US CL : 359/10, 22, 24, 27, 30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 359/10, 22, 24, 27, 30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	A.P. Yakimovich, "Three-dimensional holographic display," Sov. J. Quantum Electron., Vol. 11, No. 1, January, 1981, pages 78 to 81, see pages 79 to 80.	23 to 27, 31, 33, 41
X,P	US, A 5,216,527 (Sharnoff et al) 01 June 1993, see figure 7.	1 to 3, 5, 6, 9, 10, 12 to 18
A	Johnson et al, "Multiple, multiple-exposure hologram", Applied Optics, Vol 24, No. 24, 15 December 1985, pages 4467 to 4472, see entire document	1 to 54

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be part of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"A" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

24 FEBRUARY 1994

Date of mailing of the international search report

MAR 03 1994

Name and mailing address of the ISA/US  
Commissioner of Patents and Trademarks  
Box PCT  
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. NOT APPLICABLE

Authorized officer

for MARTIN LERNER *Smilla*

Telephone No. (703) 308-4816

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US93/11501

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(Form PCT/ISA/206 Previously Mailed.)

Please See Extra Sheet.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☒

No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US93/11501

## BOX II. OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION WAS LACKING

This ISA found multiple inventions as follows:

- I. Claims 1 to 22, drawn to a method of making master holograms of a physical system involving controlling the beam ratio of the reference beam to the object beam, classified in Class 359, Subclass 30.
- II. Claims 23 to 44, drawn to a method of making a hologram involving exposure of a light sensitive substrate to at least twenty images corresponding to two dimensional images, Class 359, Subclass 22.
- III. Claims 45 to 54, drawn to an apparatus for making holograms including means for varying the distance between an object projection assembly and a substrate holder, Class 359, Subclass 35.

The claims of these three groups are directed to different inventions which are not so linked as to form a single general concept. The claims in the different groups do not have in common the same or corresponding "special technical features." The invention of Group I describes a method of making a master hologram by controlling the beam ratio of the reference and object beams, while the invention of Group II describes a method of making a hologram from at least twenty images. Therefore, the invention of Group I represents a completely different inventive concept from the invention of Group II since the latter could be made without controlling the beam ratio, while the former could be made from less than twenty images. Moreover, the invention of Group III is completely different from the inventions of Groups I and II since the latter do not require the distance varying means of Group III. Similarly, the invention of Group III does not require the particulars of the beam ratio control means of the invention of Group I, nor the at least twenty images of the invention of Group II.

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M  
C, NL, PT, SE), AT, AU, BG, BR, C  
A, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, GB, HU  
, JP, KR, KZ, LU, NL, NO, NZ, PL,  
PT, RO, RU, SE, SK, UA, US